

Форма №Н-9.02

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ  
КАФЕДРА ПРОМИСЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

„На правах рукопису”  
УДК 621.314

До захисту допущено  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Ю.С. Ямненко \_\_\_\_\_  
(підпис)  
(ініціали, прізвище)  
„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2018 р.

**МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ**

зі спеціальності 171 Електроніка системи  
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему: Діагностика перетворювачів різних топологій

Виконав: студент 6-го курсу, групи ДС-61м

\_\_\_\_\_ Басаджи Вячеслав Ілліч \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ к.т.н, доц. Хижняк Т. А. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ (назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ к.т.н, доц. Гармаш О.В. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018 року

Форма № Н-9.01

**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”**

Факультет електроніки  
( повна назва )

Кафедра промислової електроніки  
( повна назва )

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 171 Електроніка  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Ю.С. Ямненко  
( прізвище ініціали ) (підпис)

«    »                      2018 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

Басаджи Вячеслав Ілліч  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Діагностика перетворювачів різних топологій

Керівник проекту к.т.н., Хижняк Т.А.,  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання )

затверджені наказом по університету від « 9 » січня року № 691-с

2. Строк подання студентом проекту 15 травня 2018 р.

3. Вихідні дані до проекту дослідити напівпровідникові перетворювачі різних топологій, методи їх діагностики, оптимізацію вибору зняття діагностичних даних.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) діагностування і прогнозування станів систем з напівпровідниковими перетворювачами; 2) системні принципи діагностування станів напівпровідникових перетворювачів; 3) відмови напівпровідникових перетворювачів; 4) діагностичні моделі станів силових блоків електротехнічних систем; 5) синтез алгоритму пошуку несправностей в електротехнічній системі

## 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1 – 4	Хижняк Т.А.	01.09.2017	01.09.2017

7. Дата видачі завдання 01.09.2017**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Огляд літературних джерел діагностування і прогнозування станів систем з напівпровідниковими перетворювачами	01.09.17-01.11.17	
2.	Системи діагностування і прогнозування станів силових напівпровідникових перетворювачів	01.11.17-01.02.18	
3.	Моделі і алгоритми діагностування силових напівпровідникових перетворювачів	01.02.18-01.03.18	
4.	Системні принципи діагностування станів напівпровідникових перетворювачів	01.03.18-1.04.18	
5.	Відмови напівпровідникових перетворювачів	1.04.18-1.05.18	
6.	Діагностичні моделі станів силових блоків електротехнічних систем	1.05.18-13.05.18	
7.	Розроблення стартап проекту	14.05.18-21.05.18	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Басаджи В.І.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Хижняк Т.А.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Вдосконалено існуючі методи діагностування напівпровідникових перетворювачів за діаграмами струмів та напруг в схемах різних топологій шляхом вибору оптимальної множини точок зняття діагностичних даних. Проаналізовано вплив типових несправностей в перетворювачах різних топологій на вигляд часових діаграм їх струмів та напруг. Визначено точки зняття діагностичних даних в різних схемах перетворювачів, з урахуванням їх інформативності для діагностування. Проведено прогнозування стану напівпровідникового перетворювача залежно від можливих відмов.

## SUMMARY

Existing methods of diagnosing semiconductor transducers by diagrams of currents and voltages in the schemes of different topologies are improved by choosing the optimal set of points for removing diagnostic data. The influence of typical malfunctions in converters of different topologies in the form of time diagrams of their currents and voltages is analyzed. The points of removal of diagnostic data in different circuits of converters are determined taking into account their informativeness for diagnostics. The state of the semiconductor converter is predicted depending on possible failures.

## ЗМІСТ

<b>ЗМІСТ .....</b>	<b>5</b>
<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....</b>	<b>7</b>
<b>ВСТУП .....</b>	<b>8</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ДІАГНОСТУВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНІВ СИСТЕМ З НАПІВПРОВІДНИКОВИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ .....</b>	<b>11</b>
1.1. Задачі діагностування електротехнічних об'єктів .....	11
1.2. Типові несправності в напівпровідникових перетворювачах.....	18
1.3. Задачі прогнозування стану об'єктів діагностування .....	20
Висновки до розділу 1.....	22
<b>РОЗДІЛ 2 СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНІВ СИЛОВИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ..</b>	<b>23</b>
2.1. Системні принципи діагностування станів напівпровідникових перетворювачів.....	23
2.2. Класифікація відмов в напівпровідникових перетворювачах та основні математичні характеристики.....	25
2.3. Аварійні режими напівпровідникових перетворювачів .....	32
Висновки по розділу 2.....	34
<b>РОЗДІЛ 3. МОДЕЛІ І АЛГОРИТМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ.....</b>	<b>35</b>
3.1. Відмови напівпровідникових перетворювачів .....	35
3.1.1. Стабілізований випрямляч з плавним регулюванням напруги .....	35
3.1.2. Стабілізатор напруги на транзисторі.....	36
3.1.3. Випрямляч з тиристорним регулятором напруги.....	37
3.1.4 Високовольтний стабілізатор напруги постійного струму .....	38
3.1.5 Стабілізатор зі струмом навантаження до 5А .....	40
3.1.6 Інвертор напруги.....	41
3.1.7 Інвертор 12-220В.....	43
3.1.8 Інвертор на тиристорі.....	44
3.1.9 Інвертор напруги 12 - 220 вольт.....	45

<b>3.1.10Інвертор напруги 12 - 220 В .....</b>	<b>47</b>
<b>3.2. Базові положення для моделювання аварійних режимів перетворювачів.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3. Діагностичні моделі станів силових блоків електротехнічних систем</b>	<b>53</b>
<b>3.4 Загальна діагностична модель станів електротехнічної системи.....</b>	<b>59</b>
<b>3.5 Синтез алгоритму пошуку несправностей в електротехнічній системі</b>	<b>65</b>
<b>3.6 Аналіз працездатності моделі напівпровідникового перетворювача.</b>	<b>68</b>
<b>Висновки до розділу 3 .....</b>	<b>71</b>
<b>РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ .....</b>	<b>72</b>
<b>4.1 Опис ідеї проекту.....</b>	<b>74</b>
<b>4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....</b>	<b>75</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>80</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАННОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>81</b>
<b>ДОДАТОК 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>ДОДАТОК 2 .....</b>	<b>3</b>
<b>ДОДАТОК 3 .....</b>	<b>5</b>
<b>ДОДАТОК 4 .....</b>	<b>7</b>
<b>ДОДАДОТК 5.....</b>	<b>9</b>
<b>ДОДАТОК 6 .....</b>	<b>11</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ОД – об’єкт діагностування  
ВП – вентильний перетворювач  
ЕТС – електротехнічна система  
ДФ – дестабілізуючий фактор  
НПП – напівпровідниковий перетворювач  
ІМС – інтегральна мікросхема  
ІС – інтегральна схема  
СНПП – силовий напівпровідниковий прилад  
ЕТС – електротехнічна система  
СЧ – силова частина  
ДМ – діагностична модель  
АІ – автономний інвертор  
МПСК – мікропроцесорна система керування  
В – випрямляч  
Ф – фільтр  
ТФН – таблиця функцій несправностей

## ВСТУП

**Актуальність.** Напівпровідникові перетворювачі є невід’ємною частиною сучасного енергетичного та електротехнічного обладнання різного технологічного призначення. Вихід з ладу перетворювача в цілому чи якоїсь його структурної частини, як правило, призводить до порушення функціонування всієї системи, до складу якої він входить. Аварійні режими можуть бути наслідком аномального відхилення параметрів елементів силової схеми, порушення алгоритмів роботи системи керування, спотворення параметрів напруги мережі через приховані або катастрофічні відмови. Діагностування і прогнозування функціонального стану таких об’єктів набуває підвищеної актуальності.

Існуючі системи діагностування та прогнозування володіють достатньою достовірністю для забезпечення обслуговування і ремонту по фактичному стану об’єктів діагностування [1]. Добре налагоджена робота систем діагностування дозволяє отримати значний економічний ефект за рахунок зменшення числа раптових відмов обладнання, перенесення термінів ремонтів, зниження витрат на ремонти, виявлення та усунення дрібних і середніх дефектів, а також за рахунок своєчасного визначення причин дефектів з високим ступенем достовірності. Системи діагностування дозволяють здійснювати періодичний або постійний контроль стану обладнання, автоматичне діагностування обладнання із зазначенням несправного вузла і виду несправності, прогнозування нормального функціонування об’єкту з видачею інформації про час збереження працездатності.

Діагностичними параметрами, залежно від типу та особливостей функціонування досліджуваних об’єктів, можуть бути температура, тиск, положення в просторі, частотні характеристики, часові характеристики [2].

Використання часових діаграм струмів та напруг як діагностичних параметрів напівпровідникових перетворювачів є цікавим з позиції того, що дозволяє відстежувати зміни в них, знімаючи дані в фіксованих точках схеми



[3]. Як показано в [4], якщо кожна несправність в колі викликає притаманні лише їй зміни діагностичних показників, то для отримання максимального об'єму діагностичної інформації як контрольні точки обираються вузли схеми, через які замикається найбільша кількість контурів з різноманітними несправностями. В напівпровідникових перетворювачах це вузли, до яких підключаються джерела живлення, навантаження та комутаційні вузли в пристроях з вимушеною комутацією.

Враховуючи специфіку сучасних перетворювачів, а саме їх блочну структуру, та вимогу максимально швидкого виконання діагностичних процедур і отримання висновків про стан об'єкту, доцільним є вивчення питання визначення кількості діагностичних параметрів, за якими буде виконуватись аналіз та місць їх вимірювання.

**Мета дослідження:** Вдосконалення існуючого методу діагностування напівпровідникових перетворювачів за діаграмами струмів та напруг в схемах різних топологій шляхом вибору оптимальної множини точок зняття діагностичних даних.

Для досягнення мети розглядалися наступні **задачі**:

- аналіз впливу типових несправностей в перетворювачах різних топологій на вигляд часових діаграм їх струмів та напруг;
- визначення точок зняття діагностичних даних в різних схемах перетворювачів, з урахуванням їх інформативності для діагностування;
- прогнозування стану напівпровідникового перетворювача залежно від можливих відмов.

**Об'єктом дослідження** є схеми напівпровідникових перетворювачів різної топології та функціонального призначення

**Предметом дослідження** є вплив обраної множини діагностичних даних на процес діагностування напівпровідникових перетворювачів різних топологій.

**Наукова новизна даних досліджень** полягає в:

- визначенні діагностичних задач, які вирішуються за допомогою методів функціонального і тестового діагностування при контролі технічного стану напівпровідникових перетворювачів і вимоги до методів і засобів діагностування;
- визначенні діагностичних параметрів функціонального контролю справності напівпровідникових перетворювачів, за допомогою яких виявляються можливі в експлуатації дефекти.

### **Практична цінність отриманих результатів:**

- зроблено вибір діагностичних параметрів, за допомогою яких шляхом функціонального контролю в напівпровідникових перетворювачах виявляються дефекти, що призводять до втрати його справності в процесі експлуатації;
- обґрунтовано набір діагностичних параметрів напівпровідникових перетворювачів різного функціонального призначення, контроль яких слід проводити в експлуатації;
- розроблена експертна система діагностики дозволяє виявляти дефекти електрообладнання, що призводять до порушень роботи напівпровідникових перетворювачів;

### **Апробація роботи та публікація**

Основні положення і результати, отримані в дисертаційній роботі, доповідалися на наступних науково-технічних конференціях:

- Науково-технічна конференція «Новітні технології сучасного суспільства НТСС - 2017», Чернігів, 2017р.
- Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток технічних наук: проблеми та вирішення», Брно, 2018р.

- **РОЗДІЛ 1. ДІАГНОСТУВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНІВ СИСТЕМ З НАПІВПРОВІДНИКОВИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ**

### **1.1. Задачі діагностування електротехнічних об'єктів**

Безперервне ускладнення технічних об'єктів висуває на перший план проблему оптимальної експлуатації складних технічних об'єктів. Важливу роль при цьому відводять визначенню стану об'єктів, який внаслідок впливу зовнішніх і внутрішніх факторів змінюється з плином часу. Знання стану технічних об'єктів в будь-який момент часу дозволяє оператору використовувати їх оптимальним чином, тобто в найкоротший час здійснити ремонт і тим самим підвищити надійність об'єкта [5].

Рішенням питань, пов'язаних з визначенням стану технічних об'єктів і характеру його зміни з плином часу, займається технічна діагностика [6, 7].

На етапі експлуатації об'єкту діагностування здійснюється персоналом, який не має спеціальної підготовки, що значно підвищує роль автоматизації діагностування.

При діагностуванні вирішуються такі основні завдання: перевірка справності об'єкта, перевірка його працездатності, визначення правильності функціонування і пошук несправностей [8]:

- перевірка справності дозволяє виявити відсутність дефектів і вимагає проведення повного комплексу випробувань для оцінки технічного стану об'єкта діагностування і тому є найбільш складною;

- перевірка працездатності встановлює, чи здатний об'єкт виконувати покладені на нього функції. Вона може бути менш повною порівняно з перевіркою справності (деякі дефекти можуть не впливати на правильність виконання робочих функцій), але також є досить трудомісткою, так як передбачає аналіз правильності виконання всіх заданих функцій у всіх режимах роботи об'єкту;

- перевірка правильності функціонування дає можливість виявляти несправності і помилки в процесі роботи об'єкта, тобто вона виконується в робочому режимі і оцінює його роботу в режимі реального часу при конкретному робочому входному сигналі. Вона також менш повна порівняно з перевіркою справності (деякі дефектів можуть не проявлятися в даному режимі або при даному входному сигналі), але вимагає менших витрат. Перевагою перевірки правильності функціонування є оперативність отримання інформації про перехід об'єкта в несправний стан, а недоліком є невисока повнота контролю;

- пошук несправностей, визначення причин втрати працездатності, виявлення елементів, що відмовили - важливі завдання діагностики особливо складних об'єктів.

В процесі діагностування приймається, що всі стани об'єкта утворюють множину технічних станів  $S$  [9]. Ця множина розпадається на підмножини  $S_C$  справних і  $S_H$  несправних станів, причому множина  $S_C$  часто включає єдиний стан, що відповідає справності усіх складових елементів об'єкта.

Хоча несправний об'єкт може бути працездатний, наприклад, завдяки інформаційній [10] або апаратурній надмірності, будь-які несправності обмежують його функціональні можливості. В силових колах відмови збільшують навантаження на решту справних елементів, підвищуючи ймовірність їх відмови [11]. Тому до підмножини  $S_H$  відносяться як непрацездатні, так і несправні стани. Перехід об'єкта з одного стану в інший, як правило, пояснюється виникненням несправності в об'єкті. Можливі несправності поділяють на несправності елемента, які визначають як неприпустимі кількісні зміни будь-якого параметра (характеристики) внаслідок незворотних фізико-хімічних змін, і несправності об'єкта, які трактуються як неприпустимі кількісні зміни параметрів (характеристик) або зміни структури зв'язків в об'єкті загалом [12].

Для визначення приналежності стану об'єкта до однієї з підмножин  $S_H$  або  $S_C$  необхідно виконати вимірювання ряду характеристик (діагностичних ознак) об'єкта і здійснити їх аналіз.

У загальному випадку процес діагностування містить 9 основних етапів (рис. 1.1) [14].

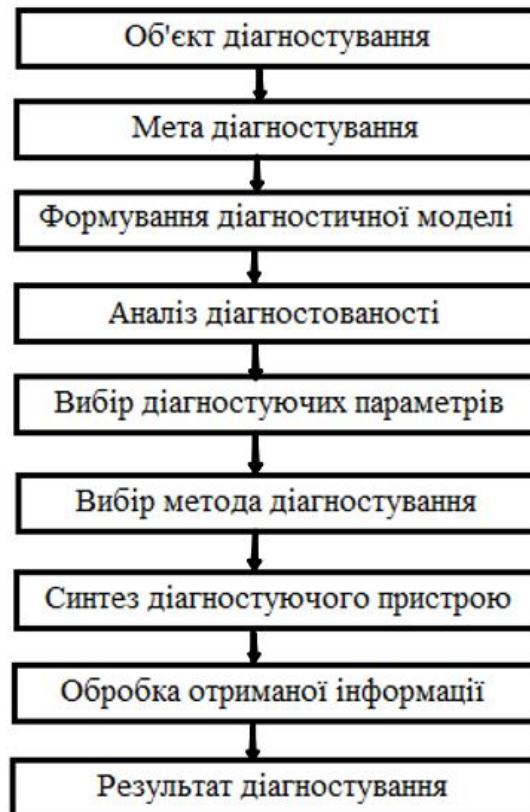


Рис. 1.1. Етапи діагностування

Формування математичної моделі об'єкта, опис основних режимів його роботи і особливостей функціонування (за допомогою диференціальних рівнянь, передавальних функцій або частотних характеристик) є першим етапом, який дозволяє в подальшому дослідити об'єкт діагностування в різних станах.

Формування мети діагностування може полягати у визначенні технічного стану об'єкта, оцінці його справності, працездатності, правильності функціонування, отримання якісної або кількісної інформації і характеристиках дефектів. Також може ставитися завдання прогнозування дефектів. Залежно від

поставленої мети будуть змінюватись методи дослідження та діагностичні дані, які будуть використовуватись.

Діагностична модель об'єкту відображає мету дослідження і є його математичною моделлю, яка враховує можливі джерела дефектів і похибок (модель об'єкта плюс модель дефектів).

Для визначення діагностованості, побудована діагностична модель об'єкта використовується для виявлення множини неспостережуваних дефектів, класів еквівалентних і нерозпізнаних дефектів, оцінки чутливості діагностування (без прив'язки до конкретного методу контролю або набору діагностичних ознак).

Вибір діагностичних ознак передбачає визначення характеристик об'єкта, які використовуються для визначення його технічного стану. Після цього здійснюється вибір методу контролю обраних параметрів та синтез пристроїв діагностування.

Безпосереднє проведення вимірювань, їх математична обробка та формування остаточного результату є завершальними етапами і найбільш важливими в плані практичної реалізації.

Вимірювані параметри повинні відповідати таким вимогам [13]:

- вимірюваність - можливість безпосереднього вимірювання параметра за допомогою певного датчика;
- інформативність - параметр повинен нести істотну інформацію про дефекти і допускати можливість кількісного визначення їх характеристик;
- інваріантність - мала чутливість до шумів і іншим завадам.

На практиці не завжди можливо реалізувати одночасне виконання всіх вимог, але саме параметри, що задовольняють всі ці принципи, слід використовувати в процесі діагностування.

Класифікацію існуючих методів контролю і діагностики динамічних систем можна здійснити за рядом ознак.

1. Вид математичних моделей об'єкта діагностування:

– методи діагностування в часовій і частотній областях,

- статичні та динамічні методи,
- детерміновані,
- імовірнісні (статистичні);

## 2. Режим діагностування

- функціональне діагностування, яке здійснюється в робочому режимі,
- тестове діагностування, коли на вхід об'єкта подаються спеціальні тестові сигнали, і перевірка проводиться в контрольному режимі;

## 3. Стадії проведення перевірки

- апріорна,
- поточна
- апостеріорна;

## 4. Модель дефектів

- спотворення сигналів об'єкта (оцінка змінних стану і вихідних сигналів),
- спотворення параметрів об'єкта (оцінка параметрів системи, коефіцієнтів математичної моделі);

## 5. Характер діагностичних ознак

- діагностування в просторі сигналів (відбувається вимірювання поточних значень параметрів об'єкта діагностування (ОД) і потім здійснюється оцінка відхилення їх від номінального значення),
- діагностування в просторі параметрів (перевірка відхилення вихідних сигналів від теоретичного значення);

## 6. Принцип діагностування

- теорія інваріантів,
- використання моделей об'єкта, що перевіряється,
- аналітична надмірність.

Вибір типу процедури визначається наступними критеріями, необхідною глибиною пошуку дефектів та організацією ефективного процесу діагностування[14].

Глибина пошуку дефектів пов'язана з обсягом одержуваної інформації про стан об'єкта, кількістю датчиків інформації і набором джерел тестових сигналів, а, отже, з матеріальними витратами[15].

Вибір типу процедури в значній мірі залежить від конструктивного виконання вузлів і блоків об'єкта, які можуть замінюватися при ремонті. Так, блокова конструкція систем керування не вимагає виявлення елемента, що відмовив, досить упевнитися в непрацездатності змінного блоку. Силова частина вентильного перетворювача, як правило, вимагає більш глибокого діагностування: до одного трансформатора, конденсатора, реактора, вентиля (або змінного вентильного блоку) [16].

Оскільки в електротехнічних системах і електричних колах елементи пов'язані між собою, діагностування зазвичай не може бути зведене до перевірки стану кожного елемента, а вимагає глибокого розуміння зв'язків, взаємних впливів елементів і вузлів [17].

Відповідно до класифікації алгоритмів діагностування (рис.1.2) на етапі діагностування діючого об'єкту можуть використовуватись або перевіряючі, або діагностуючі алгоритми.

На етапі моделювання та модельного дослідження перетворювача доцільно використовувати тести, які можна розділити на дві групи: алгоритмічні і параметричні [18].

Алгоритмічні тести перевіряють правильність функціонування об'єкта - використовуються для виявлення катастрофічних (постійних) несправностей, найчастіше в логічних схемах і цифрових автоматах, що пояснюється характером найбільш ймовірних несправностей [19].



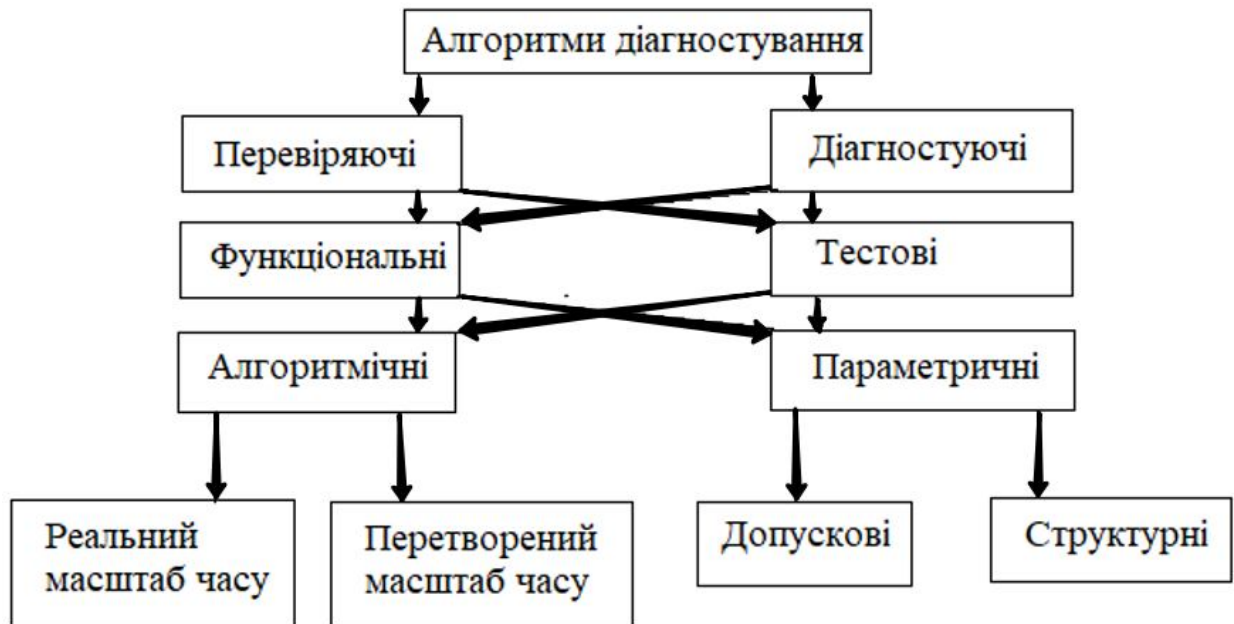


Рис. 1.2 Класифікація алгоритмів діагностування

Діагностуючі алгоритми можуть з успіхом застосовуватися і для електричних кіл, в тому числі вентильних перетворювачів (ВП), оскільки вони з інформаційної точки зору є цифровими або аналого-цифровими пристроями, в яких перетворення енергії здійснюється за певною програмою [19]. Перевірка правильності виконання цієї програми може проводитися як в реальному, так і в перетвореному масштабі часу[20].

В таких схемах можливе отримання діагностичної інформації шляхом швидкого опитування датчиків струму і напруги на міжкомутаційних інтервалах. В результаті опитування робиться висновок про можливість чергової комутації, необхідності припинення роботи, відключення навантаження або аварійного відключення [21].

Діагностування параметрів дає відповідь на такі питання як:

- чи відповідають електричні режими кола розрахунковим або заданим значенням - при цьому перевіряються такі величини, як амплітуди імпульсів, коефіцієнти передачі, гармонійний склад, тимчасові співвідношення (затримки, інтервали);
- чи відповідають параметри елементів паспортним величинам [21, 22].

Вимірювання параметрів ускладнюється тим, що в колі може бути виміряна лише деяка еквівалентна величина, обумовлена декількома пов'язаними елементами. Тому важливим завданням діагностування параметрів є пошук таких методів отримання інформації, при яких порівняно легко визначаються і розраховуються параметри окремих елементів.

Значні труднощі викликає визначення граничних параметрів, пов'язаних з подачею великих амплітуд тестових сигналів. Цей вид діагностування параметрів представляє особливий інтерес в перетворювальній техніці, оскільки працездатність перетворювачів залежить від їх здатності витримувати максимальні електричні навантаження та зберігати при цьому необхідні динамічні параметри. З цим видом діагностування тісно пов'язаний такий напрям досліджень як прогнозування стану об'єкта, яке за поточним значенням вектору параметрів і його похідної, забезпечує передбачення поведінки об'єкта в майбутньому[23].

Таким чином, діагностування параметрів може використовуватися для виявлення поступових відмов (допускові перевірки), для прогнозування стану об'єкта, а також для виявлення раптових відмов, включаючи ті, які викликають зміну структури кола: обриви або замикання віток (структурний діагностування).

## **1.2. Типові несправності в напівпровідникових перетворювачах**

Система захисту перетворювача призначена для відновлення працездатності напівпровідникових приладів за допомогою захисних пристроїв, які повинні володіти максимальною швидкістю для обмеження амплітуди і тривалості аварійного струму; мати високу надійність і простоту; тобто працювати вибірково, відключаючи тільки пошкоджені елементи; бути простими в налаштуванні і обслуговуванні, мати низьку відносну вартість в порівнянні з витратами на основне обладнання. Основні види та наслідки

відмов із заходами, що забезпечують збереження працездатності наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Найменування підсистеми	Можливі види відмов при експлуатації	Наслідки відмов	Заходи, що забезпечують збереження працездатності
Випрямляч	Перенапруження з боку мережі	Елементи схеми працюють в режимі перевантажень	Розрядники в поєднанні RC-ланцюжками або лавинними вентилями
	Асиметрія фазної напруги		
	Неправильне чергування фаз напруги мережі	Можливий вихід з ладу елементів схеми, в першу чергу напівпровідникових елементів	RC-ланцюжки і канал від перевищення допустимої напруги на тиристорах
	Зникнення фазної напруги		
	Втрата керованості	Збільшення електричного навантаження	Канал захисту від короткого замикання випрямляча
	Замикання		
	Пробій	З'являється короткозамкнений контур	Швидкодіючі запобіжники, автоматичні вимикачі (відключення пошкодженої гілки); зміщення керуючих імпульсів в інверторну область, тобто здійснює переклад випрямляча в інверторний режим
	Хибне відмикання вентиля		
	Ефект накопичення носіїв у ПП при комутації струму	Перенапруги	Застосування вентилів і тиристорів з контрольованим лавиноутворенням лавинні кремнієві вентиля (діоди і тиристири) і нелінійні резистори
Інвертор	Несправність кіл скидання реактивної енергії	Поява перенапруги на елементах комутуючого контуру і вентилях	RC-ланцюги
	Пропуск відпираючого імпульсу на черговий вентиль	Аварійний стан	Швидкодіючі запобіжники, автоматичні вимикачі (аварійне відключення короткозамкнених ланцюгів); RC-ланцюжки (обмеження швидкості наростання аварійного струму в вентилях); застосування короткозамикачів
	Струмове перевантаження тиристорів	Зрив інвертора	

	Обрив зворотного струму зустрічно паралельних діодів	Комутаційні перенапруги	RC-ланцюги
	Стрибкоподібне наростання прямої напруги на тиристорах		
	Збільшення еквівалентного активного опору контуру навантаження	Наскрізний зрив інвертування (коротке замикання випрямляча через напівпровідникові прилади інвертора), частковий зрив інвертування Порушення роботи послідовно з'єднаних тиристорів)	Канал захисту від зрывів інвертування (одновібратор + конденсаторний вимикач)

Система контролю перетворювача повинна забезпечувати сигналізацію про стан перетворювальних пристроїв (увімкнено/вимкнено), про аварійне відключення, про спрацювання захистів, про нормальну роботу системи охолодження, про перегорання запобіжників, пробої вентилів і контроль наявності напруги в найбільш відповідальних вузлах перетворювача [24].

### 1.3. Задачі прогнозування стану об'єктів діагностування

Показники реального стану об'єкта і його працездатності в деякий дискретний момент часу несуть в основному інформацію про функціонування об'єкта в минулому і не дозволяють сказати про поведінку об'єкта в майбутній період експлуатації. Ефективність діагностування істотно зростає, коли при цьому вирішується завдання прогнозування зміни стану в майбутньому [25].

Необхідність передбачення зміни стану технічних об'єктів виникла в той час, коли ступінь складності об'єкта стала випереджати рівень якості та надійності елементів, на базі яких створювалися ці об'єкти [26].

Основна ідея прогнозування полягає насамперед у кількісній оцінці стану або ступеня працездатності об'єкта в певні моменти часу в майбутньому.

Прогнозування є ключовим моментом при прийнятті рішень в керуванні [27, 28].

Зазвичай, прийняте рішення визначається результатами прогнозу (при цьому передбачається, що прогноз правильний) з урахуванням можливої помилки прогнозування. Система прогнозування є частиною великої системи керування і, як підсистема, взаємодіє з іншими компонентами системи.

Рішення задач прогнозування стану технічних об'єктів важливо як для виробників так і для фахівців, експлуатаційників, тому застосування прогнозування застосовується вже на стадії проектування при введенні норм терміну служби, а також при вхідному і регулярному контролі в процесі експлуатації. Прогнозування дозволяє також перейти до нового, більш раціонального і прогресивного принципу експлуатації - експлуатації об'єктів за технічним станом (на відміну від експлуатації за ресурсам) шляхом періодичної оцінки термінів служби об'єктів в процесі експлуатації. За допомогою прогнозування на необхідний інтервал часу вперед можна прискорено оцінити працездатність і терміни служби технічних об'єктів і скоротити період розробки виробів за рахунок скорочення тривалості виробничих випробувань[28].

В даний час в промисловості широко використовуються складні електротехнічні системи (ЕТС). Найбільш значущими рисами, яких є [29]:

- велика кількість взаємодіючих частин або елементів системи;
- можливість розчленування на окремі підсистеми найтісніше взаємодіючих елементів;
- наявність ієрархічної структури зв'язків підсистем;
- складність поведінки системи через наявність випадкових зовнішніх збурень і великої кількості зворотних зв'язків усередині системи;
- неможливість строгого визначення поняття відмови системи.

Безсумнівно, що в таких умовах стає актуальним перенесення в сферу промислових технологій результатів наукових досліджень, що дозволяють

діагностувати і прогнозувати стан ЕТС. Важливий напрямок в технічній діагностиці та прогнозуванні пов'язано із застосуванням методів штучного інтелекту: експертних систем, нейронних мереж і нечіткої логіки.

### **Висновки до розділу 1.**

1. Проведено аналіз методів діагностування та прогнозування, на підставі якого вибрано наступне: діагностування та контроль станів напівпровідникових перетворювачів має проводитися на поточній стадії проведення перевірки з використанням оцінки змінних стану і вихідних сигналів; функціональне діагностування буде проводитися в просторі сигналів, яке засноване на принципі використання моделі об'єкта, що перевіряється.
2. Обрана логічна модель, застосування якої ґрунтується на застосуванні допускових способів діагностування, що характеризуються тим, що висновок про функціональний стан об'єкта робиться на підставі якісної оцінки деякої сукупності діагностичних параметрів.
3. На основі аналізу проблеми діагностування та прогнозування станів складних електротехнічних систем сформульовані мета і завдання дослідження.

## **РОЗДІЛ 2 СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНІВ СИЛОВИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ**

### **2.1. Системні принципи діагностування станів напівпровідникових перетворювачів**

Відповідно до методології побудови системи діагностування та прогнозування складної електротехнічної системи (рис.2.1) основі необхідно здійснити системний аналіз даної системи, за результатами якого повинні бути виділені її окремі структурні елементи і обґрунтовані їх показники захищеності, визначені потенційно можливі відмови окремих елементів і системи в цілому, сформульовані конкретні цільові вимоги (функціональні, технічні, економічні, організаційні, ергономічні) до підсистеми захисту [30].

Завдання формування повної множини дестабілізуючих факторів є однією з найбільш неформалізованих проблем.

На початковому етапі формування множини дестабілізуючих чинників можливе шляхом використання експертних оцінок в різних їх модифікаціях[31]. Уточнення і поповнення множини факторів має йти регулярно за допомогою організації експериментальних досліджень. Відповідно до цієї методики повинно проводитися формування повної множини факторів.

Після оцінки дестабілізуючих факторів (ДФ) потрібно виявити факти їх прояву та вжити заходів до запобігання їх впливу на систему.

Для дослідження цих фактів потрібно побудувати діагностичні моделі системи, досліджувати їх і напрацювати ряд заходів для виявлення, запобігання і ліквідації ДФ, тобто для забезпечення можливостей практичного використання отриманих при дослідженні знань про відмови в реальній системі. Основними компонентами методології прийняття рішення є методи,

моделі та алгоритми діагностування та прогнозування технічного стану системи [32, 33].



Рис. 2.1. Загальна структура методології

Після побудови діагностичної моделі потрібно виконати аналіз різних несправностей з метою виявлення та локалізації дефектів за наявною діагностичною інформацією. В результаті, визначається множина принципово спостережуваних дефектів та даються рекомендації по розміщенню контрольних точок.



## 2.2. Класифікація відмов в напівпровідникових перетворювачах та основні математичні характеристики

Відмови, що можуть виникати в електротехнічних системах загалом і в напівпровідникових перетворювачах зокрема, можуть бути класифіковані за різними ознаками (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Класифікаційна ознака	Вид відмови
Характер виникнення відмови	Раптова, поступова
Час існування відмови	Постійна, тимчасова
Характер прояву відмови	Явна, неявна
Залежність відмов між собою	Залежна, незалежна
Причина виникнення відмови	Конструктивна, виробнича, експлуатаційна, деградаційна

*Раптова відмова* (миттєва) – характеризується стрибкоподібною зміною значення одного або декількох параметрів об'єкту та зазвичай спричиняє повну втрату працездатності.

*Поступова відмова* – виникає в результаті поступової, безперервної та монотонної зміни значення одного або кількох функціональних параметрів та виходу їх за межі норм, вказаних в технічній документації.

За своєю фізичною суттю відмови елементів і пристроїв є подіями випадковими, і тому для їх кількісного опису придатні прийоми теорії ймовірностей [34]. При цьому, випадковою величиною, яка описує відмови, є час до відмови (в загальному випадку напрацювання до відмови). На практиці в переважній більшості випадків користуються припущенням про експоненційний розподіл часу до відмови елементів [35], при якому щільність розподілу часу до відмови задається виразом

$$w(t) = \lambda e^{-\lambda t}; \lambda > 0, t \geq 0, \quad (2.1)$$

де  $\lambda$  - параметр розподілу для елемента, що розглядається, чисельно рівний його інтенсивності відмов.

Характеристика  $w(t)$  на практиці не знаходить широкого застосування в якості показника надійності виробів, однак вона використовується для визначення показників безвідмовності.

Іншим показником, що характеризує роботу об'єкту є його надійність [36], для опису якої на практиці користуються показниками надійності - кількісними характеристиками однієї або декількох властивостей, що визначають надійність виробу [36]. На практиці використовують п'ять груп таких показників:

- 1) показники безвідмовності;
- 2) показники ремонтпридатності;
- 3) показники довговічності;
- 4) показники зберігання;
- 5) комплексні показники надійності.

Усі показники, крім комплексних, відносять до одиничних показників. Під одиничним розуміють такий показник, який характеризує одну з властивостей складових надійності виробу [37], в той час як комплексний показник характеризує кілька властивостей з числа, що складають надійність виробу (дві і більше).

Основні одиничні показники надійності, що використовуються в інженерній практиці, вказані на рис. 2.2 та в табл. 2.2 [38].

Під ймовірністю безвідмовної роботи за час  $t_3$  розуміють ймовірність виду

$$P(t_3) = \text{Ймовірність}\{T \geq t_3\}, \quad (2.2)$$

де  $T$  - випадковий час безвідмовної роботи виробу (час до відмови).

Якщо відома функція щільності розподілу часу до відмови  $w(t)$ , то ймовірність безвідмовної роботи виробу за час  $t_3$  може бути визначена як

$$P(t_3) = \int_{t_3}^{\infty} w(t) dt, \quad (2.3)$$

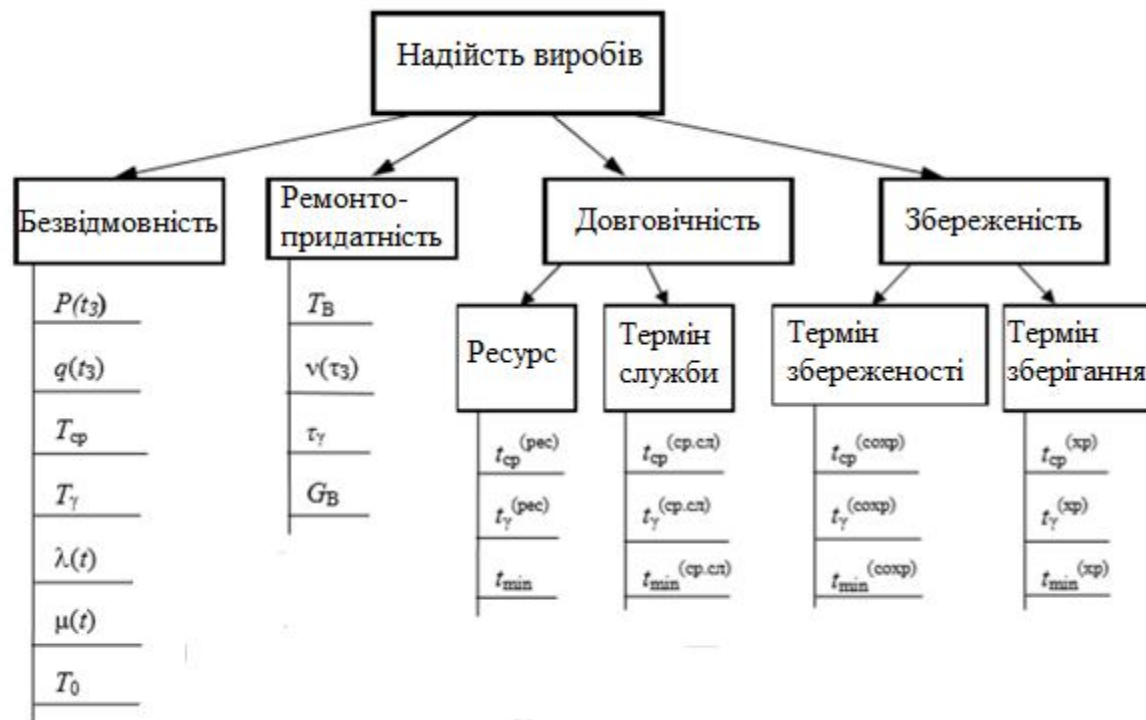


Рис. 2.2. Основні показники та складові надійності

Таблиця 2.2

Позначення	Пояснення показників надійності
<b>Показники безвідмовності</b>	
$P(t_3)$	Імовірність безвідмовної роботи за заданий час $t_3$
$q(t_3)$	Імовірність відмови за заданий час $t_3$
$T_{cp}$	Середнє напрацювання до відмови. Якщо напрацювання виражається часом, то показник називають середнім часом безвідмовної роботи
$T_\gamma$	Гамма-процентна напрацювання до відмови (зазвичай $\gamma \geq 90\%$ )
$\lambda(t)$	Інтенсивність відмов, в загальному випадку є функцією часу. Використовується в якості основної довідкової характеристики безвідмовності елементів, причому приймається $\lambda(t) = \lambda_0 = \text{const}$ при напрацюванні, що дорівнює $t_n$ (вказується конкретне значення $t_n$ в годинах)

Продовження табл. і 2.2

$T_0$	Середнє напрацювання на відмову, коротко - напрацювання на відмову. Має фізичний зміст тільки для відновлюваних радіоелектронних пристроїв (РЕП)
<b>Показники ремонтпридатності</b>	
$T_B$	Середній час відновлення РЕП. Являє математичне очікування часу відновлення
$\nu(\tau_3)$	Імовірність відновлення РЕП за заданий час $\tau_3$
$\tau_\gamma$	Гамма-процентний час відновлення (зазвичай $\gamma \geq 90\%$ )
$G_B$	Середні витрати на відновлення РЕП. Показує, скільки в середньому потрібно коштів на відновлення працездатності РЕП Показники довговічності
<b>Показники довговічності</b>	
$t_{cp}^{(pec)}$	Середній ресурс виробу. Являє собою математичне очікування ресурсу виробів розглянутого типу
$t_\gamma^{(pec)}$	Гамма-процентний ресурс (зазвичай $\gamma \geq 90\%$ )
$t_{min}$	Мінімальне напрацювання. Характеризує ресурсні можливості виробу, вважають, що $t_{min}$ відповідає значенню $t_\gamma^{(pec)}$ , при $\gamma = 99,99\%$
$t_{cp}^{(cp.сл)}$	Середній термін служби виробу. Являє собою математичне очікування терміну служби виробів розглянутого типу
$t_\gamma^{(cp.сл)}$	Гамма-відсотковий термін служби (зазвичай $\gamma \geq 90\%$ )
$t_{min}^{(cp.сл)}$	Мінімальний термін служби. Вважають, що $t_{min}^{(cp.сл)}$ відповідає гамма-відсотковому терміну служби $t_\gamma^{(cp.сл)}$ при $\gamma = 99,99\%$

Закінчення таблиці 2.2

Показники збереженості	
$t_{cp}^{(збер)}$	Показники зберігання Середній термін зберігання виробу. Являє собою математичне очікування терміну зберігання виробів розглянутого типу
$t_{\gamma}^{(збер)}$	Гамма-відсотковий термін зберігання (зазвичай $\gamma \geq 90 \%$ )
$t_{min}^{(збер)}$	Мінімальний термін зберігання. Вважають, що $t_{min}^{(збер)}$ відповідає значенню $t_{\gamma}^{(збер)}$ При $\gamma = 99,99 \%$
$t_{cp}^{(зб)}$	Середній термін зберігання виробу. Являє собою математичне очікування терміну зберігання виробів розглянутого типу
$t_{\gamma}^{(зб)}$	Гамма-пвідсотковий термін зберігання (зазвичай $\gamma \geq 90 \%$ )
$t_{min}^{(зб)}$	Мінімальний термін зберігання. Вважають, що $t_{min}^{(зб)}$ відповідає гамма-відсотковому терміну зберігання $t_{\gamma}^{(зб)}$ при $\gamma = 99,99 \%$

Геометрична інтерпретація виразу (2.2) зрозуміла з рис. 2.3[39].

В разі експоненціального розподілу часу до відмови з використанням виразу (2.2) можна отримати

$$P(t_3) = e^{-\lambda t_3} \quad (2.4)$$

де  $\lambda$  - параметр експоненціального розподілу для розглянутого виробу.

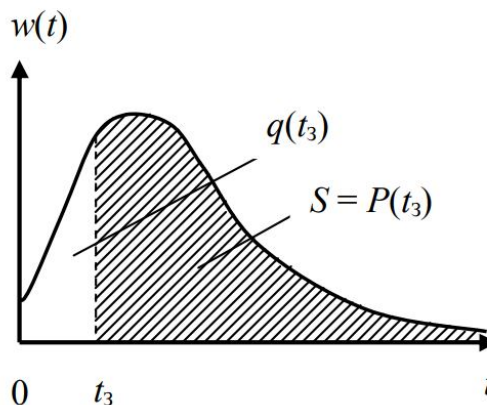


Рис. 2.3. Для визначення ймовірностей  $P(t_3)$  й  $q(t_3)$

Формулою (2.3) широко користуються в інженерних розрахунках. Вона також відома під назвою експонентний закон надійності.

Під інтенсивністю відмов елементів для інтервалу часу  $\Delta t_i$  розуміють значення умовної щільності розподілу часу до відмови за умови, що до початку розглянутого моменту часу  $\Delta t_i$  відмов не було. З використанням результатів випробувань інтенсивність відмов чисельно можна визначити як

$$\lambda_i^* = \frac{n(\Delta t_i)}{N_{cp\ i} \cdot \Delta t_i}, \quad (2.5)$$

де  $n(\Delta t_i)$  - кількість елементів, які відмовили в  $i$ -му часовому інтервалі;  $N_{cp\ i}$  - середня кількість елементів, безвідмовно працювали в  $i$ -му часовому інтервалі;  $\Delta t_i$  - ширина  $i$ -го часового інтервалу.

Надійність однотипних напівпровідникових перетворювачів (НПП) або елементів з точки зору тривалості їх роботи до першої відмови характеризують середнім часом безвідмовної роботи, під яким розуміють математичне очікування часу безвідмовної роботи [40].

Основною характеристикою безвідмовності елементів, що наводиться в технічних умовах або інших технічних документах, є інтенсивність відмов  $\lambda_0$  [41]. Значення  $\lambda_0$  приймається постійним, вказується в технічній документації і відповідає номінальному електричному режиму і нормальним (лабораторним) умовам експлуатації, якщо явно не вказано інше.

Розмірність інтенсивності відмов:  $[\lambda] = 1/\text{год} = \text{год}^{-1}$ .

Реальний рівень безвідмовності елементів залежить від коефіцієнтів їх електричного навантаження, обумовлених відношенням

$$K_H = \frac{F_{роб}}{F_{ном}}, \quad (2.10)$$

де  $F_{роб}$  - електричне навантаження елемента в робочому режимі, фактичне навантаження на розглянутому схемному елементі;  $F_{ном}$  - номінальне або граничне електричне навантаження елемента.

В якості  $F$  обирають таку електричну характеристику елементу, яка в найбільшій мірі впливає на його безвідмовність (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Електричні характеристики, які використовують для знаходження  $K_H$ 

Група елементів	Характеристика $F$
Резистори	Розсіювана потужність
Конденсатори	Напруга ,що прикладається
Транзистори, Діоди НВЧ	Розсіювана потужність
Діоди крім стабілітронів, діодні збірки	Середній прямий струм
Напівпровідникові, знаковинтезуючі індикатори, оптопар, НП випромінювачі	Середній прямий струм
Стабілітрони	Струм стабілізації, розсіювана потужність
Тиристори	Середній прямий струм, розсіювана потужність
Трансформатори	Потужність
Дроселі, котушки індуктивності	Струм підмагнічування або протікаючий струм
Реле	Струм комутації
З'єднувачі, елементи комутації	Струм протікання
Кабелі, дроти	Щільність струму дроту

Неприпустимо використовувати елементи з коефіцієнтом електричного навантаження  $K_H > 1$  навіть по одному з параметрів електричного режиму. Вважають, що для типових елементів РЕП оптимальні значення коефіцієнтів навантаження  $K_{H,ont} \sim 0,2 \dots 0,6$  [39].

Поняттям коефіцієнт навантаження для інтегральної мікросхеми (ІМС) на практиці прямо не користуються. Оскільки кожна інтегральна схема (ІС) включає певну кількість елементів, коефіцієнти електричного навантаження яких визначаються внутрішньою структурою (електричною схемою) і конструктивно-технологічними особливостями виготовлення ІС, то значення коефіцієнтів навантаження елементів враховані довідковим значенням інтенсивності відмов  $\lambda_0$  ІС в цілому. Наведені в довіднику  $\lambda_0$  відповідають умовам типового (усередненого) електричного навантаження ІМС і температурі навколишнього середовища  $t = +25^\circ \text{C}$ .

Однак в ряді випадків деякі групи (типи) ІМС допускають роботу в полегшених режимах, ніж типові, наприклад використання аналогових ІМС при зниженій напрузі живлення, що підвищує їх експлуатаційну безвідмовність. Підвищення експлуатаційної безвідмовності ІМС, які використовуються в полегшених режимах, може бути враховано з допомогою коефіцієнта  $K_{пол}$ . представляє відношення робочого електричного навантаження до максимально допустимого (номінального). В цьому випадку, коефіцієнт  $K_{пол}$  може розглядатися як певний аналог коефіцієнта навантаження  $K_H$  ІМС в цілому.

На практиці, з метою підвищення надійності НПП коефіцієнти навантаження елементів  $K_H$  вибирають менше одиниці.

Умови роботи елементів, як правило, виявляються більш жорсткими, ніж нормальні. Виникає задача визначення інтенсивності відмов, що відповідає експлуатаційним умовам (електричному режиму, умовам роботи елемента в складі НПП, а також конструктивно-технологічними особливостями елемента). Цю інтенсивність відмов називають експлуатаційною -  $\lambda_E$  [42].

На практиці для визначення  $\lambda_E$  широко використовують математичну модель виду [40]:

$$\lambda_e = \lambda_0 \prod_{i=1}^m K_i, \quad (2.11)$$

де  $m$  - кількість факторів, взятих до уваги, які впливають на безвідмовність елементів;  $K_i$  – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив  $i$ -го фактору.

### 2.3. Аварійні режими напівпровідникових перетворювачів

Можна виділити три основні причини, за якими вентильні перетворювачі переходять в аварійні режими роботи [41]:

- ненормована зміна параметрів на вході і виході вентиляного комплексу;
- порушення або погіршення основних властивостей вентилів;
- порушення в роботі системи керування і регулювання перетворювача.



Традиційно аварійні режими ділять на дві групи [42]: внутрішні і зовнішні. Виникнення внутрішніх аварій пов'язано з втратою силовими напівпровідниковими приладами (СНПП) їх вентильних властивостей і керованості, а також зі збоями в роботі системи керування. Так, якщо прилад втратив здатність блокувати напругу, він може бути пробитий зворотною напругою, яка подається на нього і у перетворювачі розвиваються внутрішні короткі замикання, які є одним з найбільш важких аварійних режимів.

Збільшення часу вимикання силового ключа може не дозволити йому відновити упродовж певного часу свої замикаючі властивості, що при роботі перетворювача в інверторному режимі призводить до перекидання інвертора або зриву режиму інвертування, а це також є важкою аварією [43]. Такий вид аварій виникає в інверторі, якщо системою керування не буде згенерований імпульс відкривання для ключа або ж він надійде з неприпустимою затримкою, або ключ просто виявиться нездатним перейти в увімкнений стан під дією даного імпульсу.

Перенапруги, що виникають в процесі переходу струму навантаження з одного вентильного плеча на інше або при спрацьовуванні запобіжників вентилів, підсумовуючись з напругою мережі змінного струму, здатні або пробити ключ зворотною напругою, або мимовільно увімкнути його в прямому напрямку, що також призводить до розвитку внутрішніх аварій.

При внутрішніх аваріях, пов'язаних з пробоем ключів одного з вентильних плечей, блокування імпульсів керування на початковому етапі може мати захисні функції і здатне перервати аварійний процес, якщо тільки неущкоджені ключі зберегли свої вентильні властивості [44].

Причини виникнення зовнішніх аварій лежать поза межами силових кіл і системи керування вентильними комплектами. При цьому, своєчасно не ліквідовані зовнішні аварії, як правило, призводять до розвитку аварій внутрішніх.

Якщо, наприклад, випрямляч під час робочого навантаження навантажений струмом, що перевищує допустимий робочий струм,

температура структури вентиля виявляється вище допустимої і можливе виникнення теплового пробою приладу, що призводить до внутрішнього короткого замикання [45]. Граничним випадком в подібній ситуації є глухе коротке замикання на вихідних затискачах.

Перевантаження за струмом інвертора, що супроводжується збільшенням часу вимикання ключів понад допустимі значення, викликає перекидання інвертора. Цей же вид аварії можливий і при зменшенні напруги в мережі змінного струму нижче допустимого рівня або при обриві однієї з фаз.

Стійкість перетворювачів до перевантажень обумовлена головним чином здатністю навантаження СНПП. Гранична ж здатність навантаження вентилів визначається, в кінцевому рахунку, їх тепловим режимом [43], який залежить від форми, тривалості і частоти повторення імпульсів прямого струму, параметрів вентилів в стані високої провідності і їх теплового опору.

Аналіз аварійних режимів в цих умовах передбачає, по-перше, розрахунок струмів аварійних перевантажень і, по-друге, визначення температури структури вентилів, навантажених цими струмами.

## **Висновки по розділу 2**

1. Розроблена методологія побудови систем діагностування та прогнозування станів складних електротехнічних систем.

2. Розглянуто основні види відмов напівпровідникових перетворювачів та основні математичні характеристики ймовірності їх виникнення.

3. Проведено аналіз основних аварійних режимів роботи напівпровідникових перетворювачів та причини їх виникнення.

## РОЗДІЛ 3. МОДЕЛІ І АЛГОРИТМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

### 3.1. Відмови напівпровідникових перетворювачів

Для дослідження того, які несправності можуть виникнути в напівпровідникових перетворювачах та яким чином їх можна виявити, далі розглядається ряд перетворювачів, різних за топологією та принципами функціонування.

#### 3.1.1. Стабілізований випрямляч з плавним регулюванням напруги

На рис. 3.1 зображений стабілізований випрямляч з плавним регулюванням напруги.

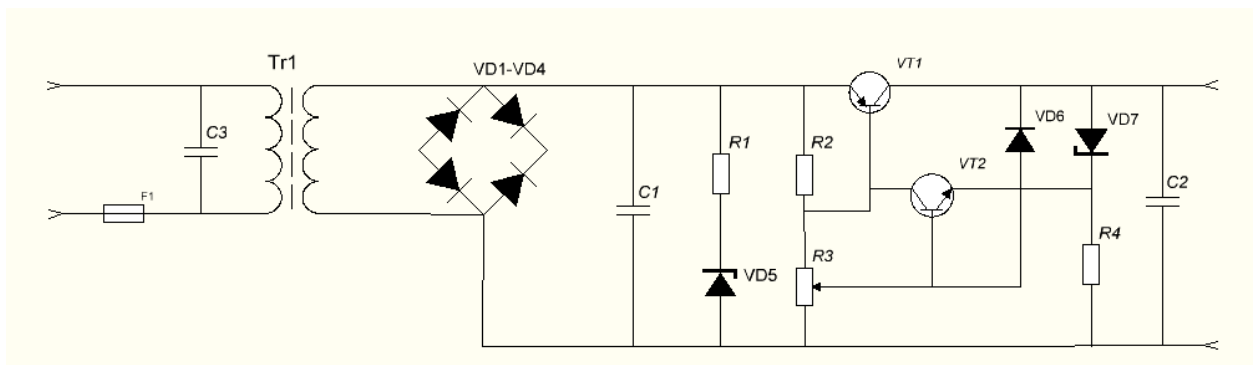


Рис. 3.1 Стабілізований випрямляч з плавним регулюванням напруги

В даній схемі осцилограмами, які можуть бути виміряні є наступні:

1. Осцилограми струму та напруги на джерелі живлення;
2. Осцилограми струму та напруги на навантаженні;
3. Осцилограми струму та напруги після випрямляча;
4. Осцилограми струму та напруги після транзисторного каскаду.

Можливі несправності можна умовно розбити на 3 групи, враховуючи осцилограми, які можна використати для діагностики:

1. пробій діода, згорання діода, вихід з ладу фільтру C1 – найбільш чітко реагує осцилограма напруги на виході діодного моста після фільтру;
2. вихід з ладу регулюючих транзисторів - вимір прямих опорів емітерного і колекторного переходів, вимір зворотних опорів емітерного і колекторного переходів;
3. вихід з ладу потенціометра R3 – рівень напруги на виході, пересуваючи повзунок потенціометра.

Для аналізу роботи вище наведеної схеми мінімальними діагностичними даними для аналізу працездатності та визначення приблизного місцезнаходження дефекту потрібно зняти осцилограми струму та напруги на виході схеми та осцилограми напруги після випрямляча, це суттєво зменшить кількість перевірок і звужить коло пошуку дефекту розділивши схему на 2 частини: блок випрямляча і блок коректора з фільтром.

### 3.1.2. Стабілізатор напруги на транзисторі

На рис. 3.2 зображений стабілізатор напруги на транзисторі.

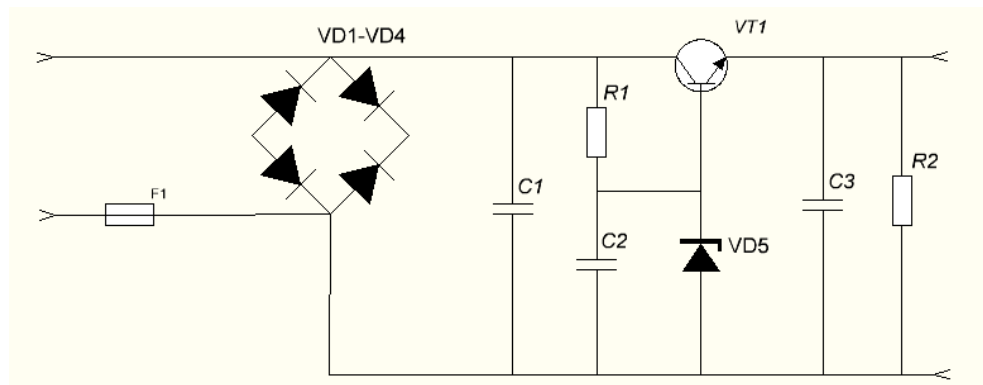


Рис.3.2 Стабілізатор напруги на транзисторі

В даній схемі осцилограмами, які можуть бути виміряні є наступні:

1. Осцилограми струму та напруги на джерелі живлення;
2. Осцилограми струму та напруги на навантаженні;
3. Осцилограми струму та напруги після випрямляча;
4. Осцилограми струму та напруги після транзисторного каскаду;

Можливі несправності можна умовно розбити на 3 групи, враховуючи осцилограми, які можна використати для діагностики:

1. Пробій діода, згорання діода, вихід з ладу фільтру C1 – найбільш чітко реагує осцилограма напруги на виході діодного моста після фільтру;
2. Вихід з ладу регулюючих транзисторів – вимір прямих опорів емітерного і колекторного переходів, вимір зворотних опорів емітерного і колекторного переходів;
3. Вихід з ладу компенсаційного пристрою – найбільш доцільною є перевірка форми струму на вході схеми.

Для аналізу роботи вище наведеної схеми мінімальними діагностичними даними для аналізу працездатності та визначення приблизного місцезнаходження дефекту потрібно зняти осцилограми струму та напруги на виході схеми та осцилограми напруги після випрямляча, це суттєво зменшить кількість перевірок і звужить коло пошуку дефекту розділивши схему на 2 частини: блок випрямляча і блок коректора з фільтром. Після звуження кола пошуку йде перевірка працездатності діодів або перевірка працездатності транзисторів.

### 3.1.3. Випрямляч з тиристорним регулятором напруги

На рис. 3.3 зображений випрямляч з тиристорним регулюванням напруги

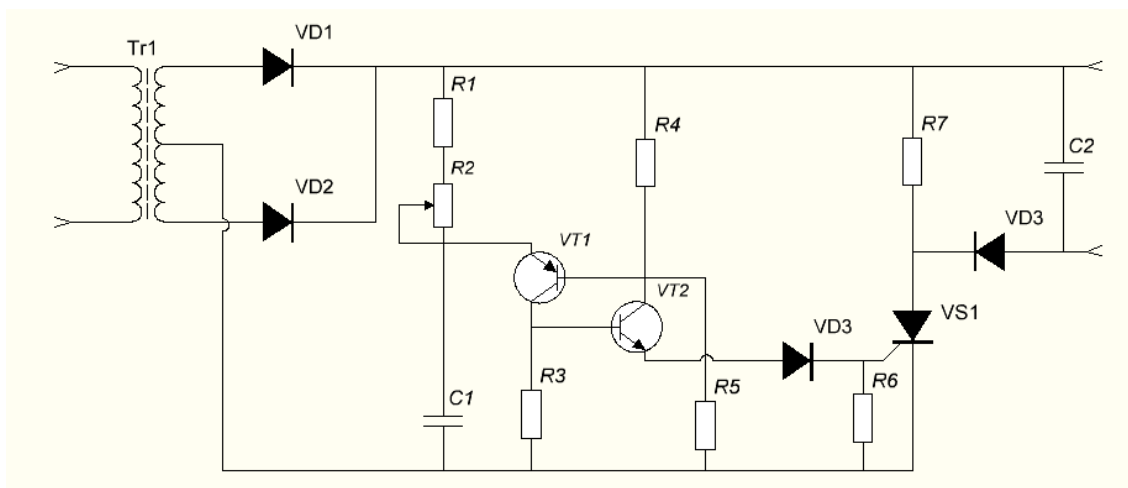


Рис.3.3 Випрямляч з тиристорним регулюванням напруги

В даній схемі осцилограмами, які можуть бути виміряні є наступні:

1. Осцилограми струму та напруги на джерелі живлення;
2. Осцилограми струму та напруги на навантаженні;
3. Осцилограми струму та напруги після випрямляча;
4. Осцилограми струму та напруги після транзисторного каскаду;

Можливі несправності можна умовно розбити на 4 групи, враховуючи осцилограми, які можна використати для діагностики:

1. Пробій діода, згорання діода, вихід з ладу фільтру C1 - найбільш чітко реагує осцилограма напруги на виході діодного моста після фільтру;
2. Вихід з ладу регулюючих транзисторів – вимір прямих опорів емітерного і колекторного переходів, вимір зворотних опорів емітерного і колекторного переходів;
3. Вихід з ладу потенціометра R2 – рівень напруги на виході, пересуваючи повзунок потенціометра.
4. Вихід з ладу згладжуючого фільтра – форма напруги і струму на виході схеми

Для аналізу роботи вище наведеної схеми мінімальними діагностичними даними для аналізу працездатності та визначення приблизного місцезнаходження дефекту потрібно зняти осцилограми струму та напруги на виході схеми та осцилограми напруги після випрямляча, це суттєво зменшить кількість перевірок і звузить коло пошуку дефекту розділивши схему на 2 частини: блок випрямляча і блок коректора з фільтром. Після звуження кола пошуку йде перевірка працездатності діодів або перевірка працездатності транзисторів.

### **3.1.4 Високовольтний стабілізатор напруги постійного струму**

На рис. 3.4 зображений високовольтний стабілізатор напруги.

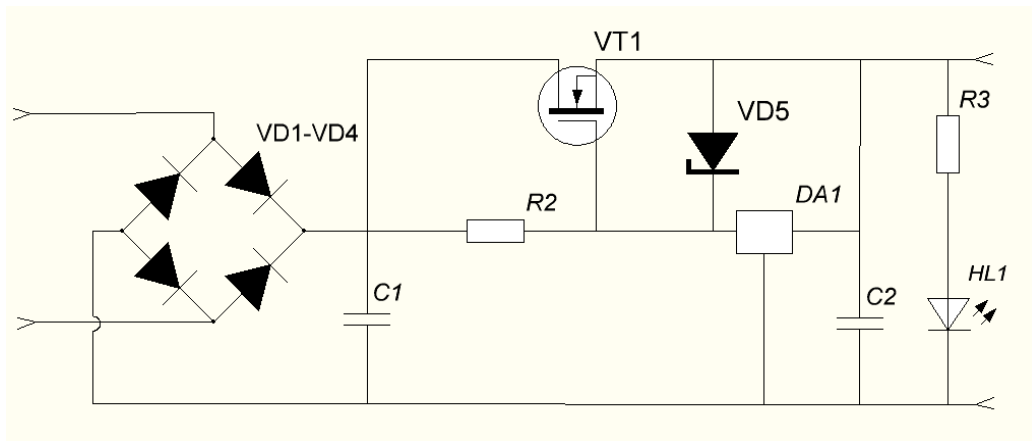


Рис.3.4 Високовольтний стабілізатор напруги

В даній схемі осцилограмами, які можуть бути виміряні є наступні:

1. Осцилограми струму та напруги на джерелі живлення;
2. Осцилограми струму та напруги на навантаженні;
3. Осцилограми струму та напруги після випрямляча;
4. Осцилограми струму та напруги після транзисторного каскаду;

Можливі несправності можна умовно розбити на 3 групи, враховуючи осцилограми, які можна використати для діагностики:

1. Пробій діода, згорання діода, вихід з ладу фільтру C1 - найбільш чітко реагує осцилограма напруги на виході діодного моста після фільтру;
2. Вихід з ладу регулюючих транзисторів - вимкнути пристрій, зняти статичну електрику з транзистора. Перевести мультиметр в режим перевірки діодів. Підключити чорний провід мультиметра до мінуса вимірювального приладу, а червоний - до плюса. Підключити червоний провід до джерела, а чорний - до стоку транзистора. Якщо транзистор справний, то мультиметр покаже напругу на переході 0,5 - 0,7 В. Підключити червоний провід мультиметра до стоку, а чорний - до витoku транзистора. При справному приладі мультиметр покаже одиницю, що означає нескінченність. Підключити чорний провід до джерела, а червоний - до затвору. Таким чином, здійснюється відкриття транзистора. Чорний провід залишається на початку, а червоний під'єднується до стоку. При справному приладі мультиметр покаже напругу від 0 до 800 мВ. При зміні полярності щупів мультиметра величина показань не

повинна змінитися. Підключити червоний провід до джерела, а чорний - до затвору. Відбудеться закриття транзистора. Чорний провід залишається на початку, а червоний під'єднується до стоку. При справному приладі мультиметр покаже напругу від 0 до 800 мВ. При зміні полярності щупів мультиметра величина показань не повинна змінитися. Підключити червоний провід до джерела, а чорний - до затвору. Відбудеться закриття транзистора;

3. Вихід з ладу згладжуючого фільтра – форма напруги і струму на виході схеми.

Для аналізу роботи вище наведеної схеми мінімальними діагностичними даними для аналізу працездатності та визначення приблизного місцезнаходження дефекту потрібно зняти осцилограми струму та напруги на виході схеми та осцилограми напруги після випрямляча, це суттєво зменшить кількість перевірок і звужить коло пошуку дефекту розділивши схему на 2 частини: блок випрямляча і блок коректора з фільтром. Після звуження кола пошуку йде перевірка працездатності діодів або перевірка працездатності транзисторів.

### 3.1.5 Стабілізатор зі струмом навантаження до 5А

На рис. 3.5 зображений стабілізатор зі струмом навантаження до 5А.

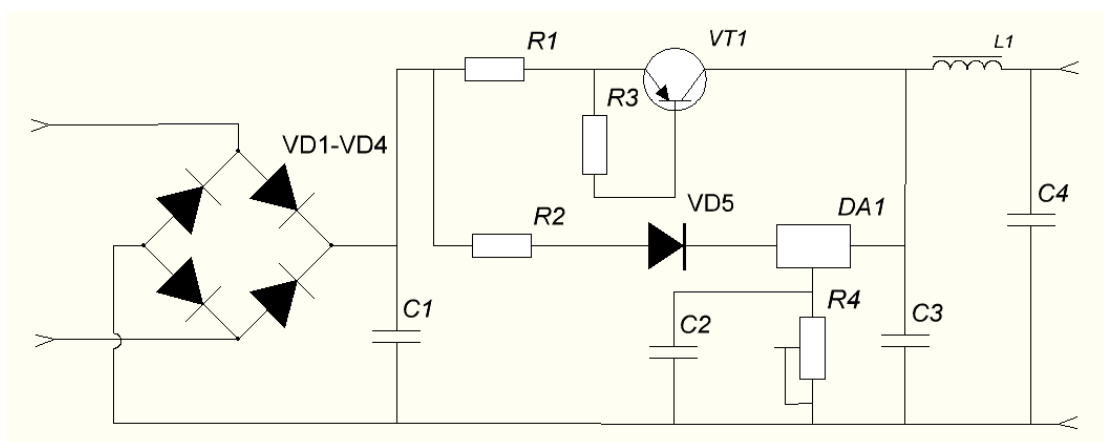


Рис.3.5 Стабілізатор зі струмом навантаження до 5А

В даній схемі осцилограмами, які можуть бути виміряні є наступні:



1. Осцилограми струму та напруги на джерелі живлення;
2. Осцилограми струму та напруги на навантаженні;
3. Осцилограми струму та напруги після випрямляча;
4. Осцилограми струму та напруги після транзисторного каскаду;

Можливі несправності можна умовно розбити на 3 групи, враховуючи осцилограми, які можна використати для діагностики:

1. Пробій діода, згорання діода, вихід з ладу фільтру С1 - найбільш чітко реагує осцилограма напруги на виході діодного моста після фільтру;
2. Вихід з ладу регулюючих транзисторів - вимір прямих опорів емітерного і колекторного переходів, вимір зворотних опорів емітерного і колекторного переходів; ,
3. Вихід з ладу згладжуючого фільтра - форма напруги і струму на виході схеми.

Для аналізу роботи вище наведеної схеми мінімальними діагностичними даними для аналізу працездатності та визначення приблизного місцезнаходження дефекту потрібно зняти осцилограми струму та напруги на виході схеми та осцилограми напруги після випрямляча, це суттєво зменшить кількість перевірок і звужить коло пошуку дефекту розділивши схему на 2 частини: блок випрямляча і блок коректора з фільтром. Після звуження кола пошуку йде перевірка працездатності діодів або перевірка працездатності транзисторів.

### **3.1.6 Інвертор напруги**

На рис. 3.6 зображений інвертор напруги.

В даній схемі осцилограмами, які можуть бути виміряні є наступні:

1. Осцилограми струму та напруги на джерелі живлення;
2. Осцилограми струму та напруги на навантаженні;
3. Осцилограми струму та напруги після транзисторного каскаду.

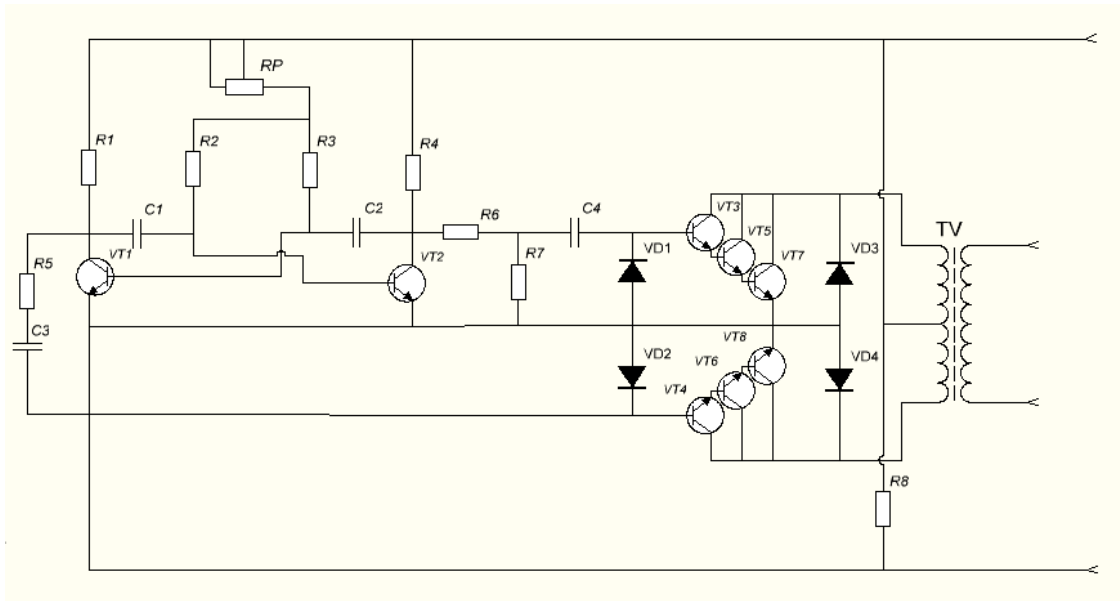


Рис. 3.6 Інвертор напруги

Можливі несправності можна умовно розбити на 3 групи, враховуючи осцилограми, які можна використати для діагностики:

1. Вихід з ладу задаючого генератора – вимірювання прямих опорів емітерного і колекторного переходів; вимірювання зворотних опорів емітерного і колекторного переходів;
2. Вихід з ладу транзисторів VT3-VT8 – вимірювання прямих опорів емітерного і колекторного переходів; вимірювання зворотних опорів емітерного і колекторного переходів;
3. Вихід з ладу трансформатора – напруга на первинній та вторинній обмотках.

Для аналізу роботи вище наведеної схеми мінімальними діагностичними даними для аналізу працездатності та визначення приблизного місцезнаходження дефекту потрібно зняти осцилограми струму та напруги на виході інвертора та після задаючого генератора VT1, VT2, це суттєво зменшить кількість перевірок і звужить коло пошуку дефекту розділивши схему на 2 частини: блок задаючого генератора і блок інвертора.

### 3.1.7 Інвертор 12-220В

На рис. 3.7 зображений інвертор 12-220В.

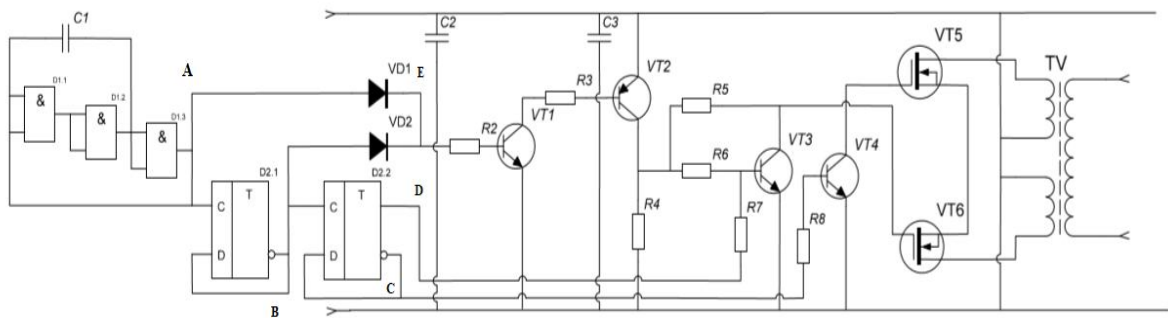


Рис. 3.7 Інвертор напруги

В даній схемі осцилограмами, які можуть бути виміряні є наступні:

1. Осцилограми струму та напруги на джерелі живлення;
2. Осцилограми струму та напруги на навантаженні;
3. Осцилограми струму та напруги після транзисторного каскаду;

Можливі несправності можна умовно розбити на 3 групи, враховуючи осцилограми, які можна використати для діагностики:

1. Вихід з ладу задаючого генератора і ділянки частоти – імпульси в точках А-Д;
4. Вихід з ладу транзисторів VT1-VT4 – вимірювання прямих опорів емітерного і колекторного переходів; вимірювання зворотних опорів емітерного і колекторного переходів;
2. Вихід з ладу польових транзисторів – напруга первинної обмотки

Для аналізу роботи вище наведеної схеми мінімальними діагностичними даними для аналізу працездатності та визначення приблизного місцезнаходження дефекту потрібно зняти осцилограми струму та напруги на виході інвертора та після блоку генерації прямокутних імпульсів та блок керування транзисторами інвертора, це суттєво зменшить кількість перевірок і звузить коло пошуку дефекту розділивши схему на 3 частини: інвертор, блок керування, блок генерації.

### 3.1.8 Інвертор на тиристорі

На рис. 3.8 зображений інвертор на тиристорі.

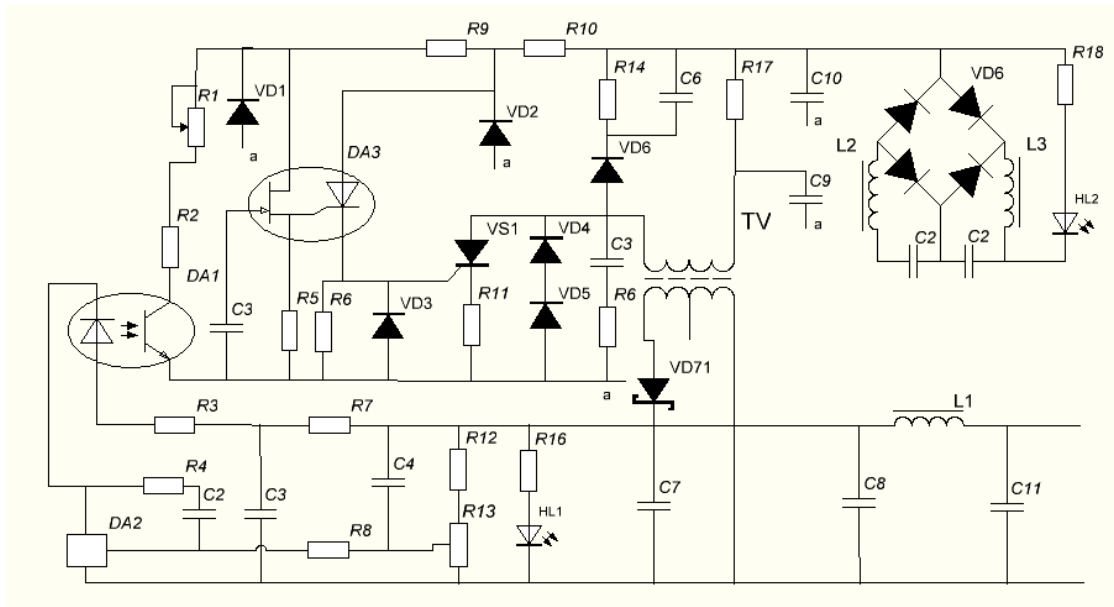


Рис. 3.8 Інвертор на тиристорі

В даній схемі осцилограмами, які можуть бути виміряні є наступні:

1. Осцилограми струму та напруги на джерелі живлення;
2. Осцилограми струму та напруги на навантаженні;
3. Осцилограми струму та напруги після транзисторного каскаду;

Можливі несправності можна умовно розбити на 3 групи, враховуючи осцилограми, які можна використати для діагностики:

1. Пробій діода, згорання діода, вихід з ладу фільтра C1 – напруга після діодного моста і фільтра;
2. Вихід з ладу трансформатора – напруга на первинній та вторинній обмотках;
3. Вихід з ладу тиристорів DA3, VS1 – опір на тиристорах.
4. Вихід з ладу параметричних стабілізаторів R9-VD1, R10-VD2 – напруга на виході стабілізаторів;
5. Вихід з ладу оптопари – обрив верхнього по малюнку контакту - не буде струму через світлодіод (і падіння напруги на ньому - теж, фототранзистор буде завжди закритий, на його колекторі буде завжди напруга +5 ( +3,3). Якщо

напруга на світлодіоді в нормі - тобто в межах 1,2-2 В, то він, швидше за все, справний. При нульовій напрузі - пробитий при напрузі живлення - в обриві. Несправний фототранзистор - або пробитий (напруга на колекторі - 0), або в обриві - напруга дорівнює напрузі живлення;

#### 6. Вихід з ладу згладжуючого фільтра – форма напруги на виході

Для аналізу роботи вище наведеної схеми мінімальними діагностичними даними для аналізу працездатності та визначення приблизного місцезнаходження дефекту потрібно зняти осцилограми струму та напруги на виході інвертора, після випрямляча, трансформатора та перевірку оптопар, це суттєво зменшить кількість перевірок і звужить коло пошуку дефекту розділивши схему на частини.

### 3.1.9 Інвертор напруги 12 - 220 вольт

На рис. 3.9 зображений інвертор 12-220В.

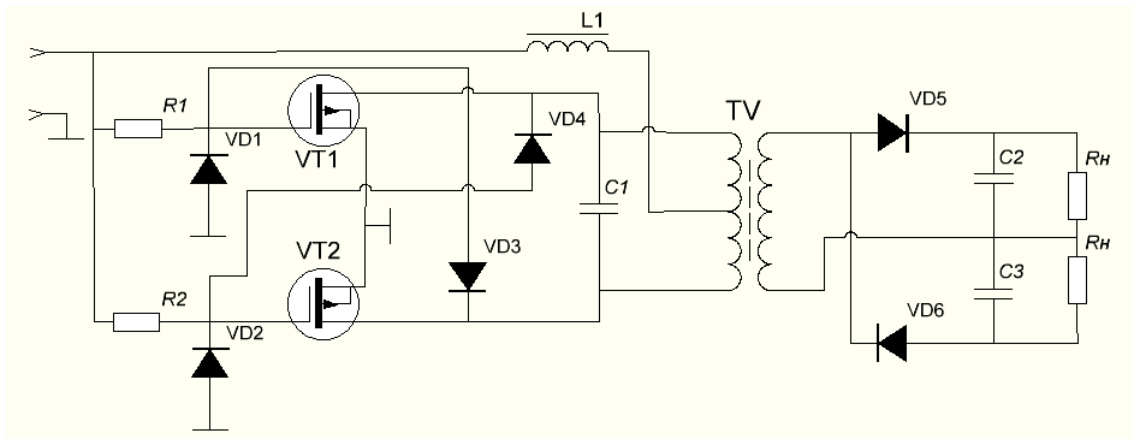


Рис.3.9 Інвертор напруги 12-220 В

В даній схемі осцилограмами, які можуть бути виміряні є наступні:

1. Осцилограми струму та напруги на джерелі живлення;
2. Осцилограми струму та напруги на навантаженні;
3. Осцилограми струму та напруги після транзисторного каскаду;

Можливі несправності можна умовно розбити на 4 групи, враховуючи осцилограми, які можна використати для діагностики:

1. Вихід з ладу трансформатора - напруга на первинній та вторинній обмотках;

2. Вихід з ладу регулюючих транзисторів - вимкнути пристрій. Зняти статичну електрику з транзистора. Перевести мультиметр в режим перевірки діодів. Підключити чорний провід мультиметра до мінуса вимірювального приладу, а червоний - до плюса. Підключити червоний провід до джерела, а чорний - до стоку транзистора. Якщо транзистор справний, то мультиметр покаже напругу на переході 0,5 - 0,7 В. Підключити червоний провід мультиметра до стоку, а чорний - до витoku транзистора. При справному приладі мультиметр покаже одиницю, що означає нескінченність. Підключити чорний провід до джерела, а червоний - до затвору. Таким чином, здійснюється відкриття транзистора. Чорний провід залишається на початку, а червоний під'єднується до стоку. При справному приладі мультиметр покаже напругу від 0 до 800 мВ. При зміні полярності щупів мультиметра величина показань не повинна змінитися. Підключити червоний провід до джерела, а чорний - до затвору. Відбудеться закриття транзистора. Чорний провід залишається на початку, а червоний під'єднується до стоку. При справному приладі мультиметр покаже напругу від 0 до 800 мВ. При зміні полярності щупів мультиметра величина показань не повинна змінитися. Підключити червоний провід до джерела, а чорний - до затвору. Відбудеться закриття транзистора;

3. Вихід з ладу діода. - напруга на фільтрі.

4. Вихід з ладу згладжуючого фільтра – напруга на виході.

Для аналізу роботи вище наведеної схеми мінімальними діагностичними даними для аналізу працездатності та визначення приблизного місцезнаходження дефекту потрібно зняти осцилограми струму та напруги на виході інвертора та на виході випрямляча, це суттєво зменшить кількість перевірок і звузить коло пошуку дефекту розділивши схему на 2 частини: блок випрямляча і блок інвертора.

### 3.1.10 Інвертор напруги 12 - 220 В

На рис. 3.10 зображений інвертор 12-220В.

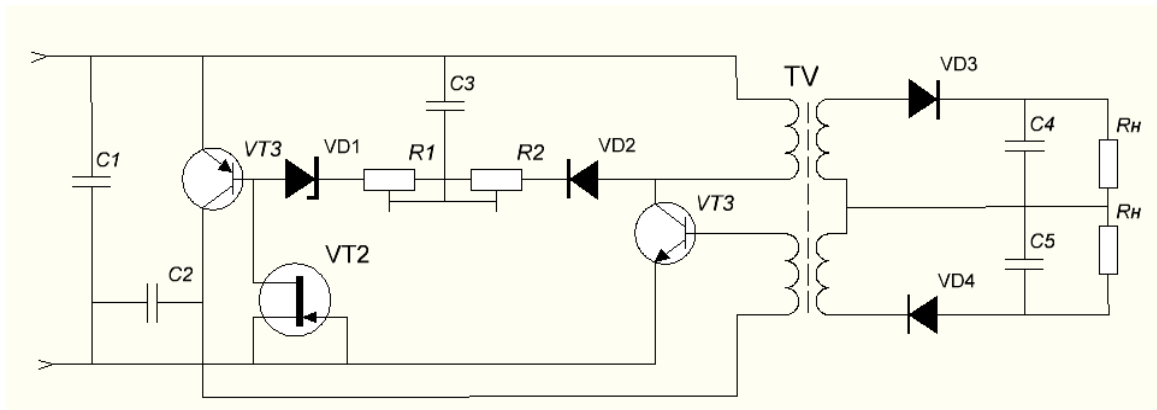


Рис.3.10 Інвертор напруги 12-220В

В даній схемі осцилограмами, які можуть бути виміряні є наступні:

1. Осцилограми струму та напруги на джерелі живлення;
2. Осцилограми струму та напруги на навантаженні;
3. Осцилограми струму та напруги після транзисторного каскаду;

Можливі несправності можна умовно розбити на 5 груп, враховуючи осцилограми, які можна використати для діагностики:

1. Вихід з ладу трансформатора – напруга на первинній та вторинній обмотках;
2. Вихід з ладу польового транзистора – вимкнути пристрій. Зняти статичну електрику з транзистора. Перевести мультиметр в режим перевірки діодів. Підключити чорний провід мультиметра до мінуса вимірювального приладу, а червоний - до плюса. Підключити червоний провід до джерела, а чорний - до стоку транзистора. Якщо транзистор справний, то мультиметр покаже напругу на переході 0,5 - 0,7 В. Підключити червоний провід мультиметра до стоку, а чорний - до витoku транзистора. При справному приладі мультиметр покаже одиницю, що означає нескінченність. Підключити чорний провід до джерела, а червоний - до затвору. Таким чином, здійснюється відкриття транзистора. Чорний провід залишається на початку, а червоний під'єднується до стоку. При справному приладі мультиметр покаже напругу від

0 до 800 мВ. При зміні полярності щупів мультиметра величина показань не повинна змінитися. Підключити червоний провід до джерела, а чорний - до затвору. Відбудеться закриття транзистора. Чорний провід залишається на початку, а червоний під'єднується до стоку. При справному приладі мультиметр покаже напругу від 0 до 800 мВ. При зміні полярності щупів мультиметра величина показань не повинна змінитися. Підключити червоний провід до джерела, а чорний - до затвору. Відбудеться закриття транзистора;

3. Вихід з ладу біполярних транзисторів – вимір прямих опорів емітерного і колекторного переходів. Вимір зворотних опорів емітерного і колекторного переходів;

4. Вихід з ладу VD3-VD4 діода. Перевірка: напруга на конденсаторах C4, C5;

5. Вихід з ладу згладжуючого фільтра. Перевірка: напруга на виході

Для аналізу роботи вище наведеної схеми мінімальними діагностичними даними для аналізу працездатності та визначення приблизного місцезнаходження дефекту потрібно зняти осцилограми струму та напруги на виході інвертора та на виході випрямляча, це суттєво зменшить кількість перевірок і звузить коло пошуку дефекту розділивши схему на 2 частини: блок випрямляча і блок інвертора.

### **3.2. Базові положення для моделювання аварійних режимів перетворювачів**

Для спостереження за розвитком позаштатних ситуацій при роботі електротехнічної системи (ЕТС) необхідно розробити комп'ютерні моделі розвитку аварійних режимів.

Такі моделі мають наочністю, показуючи динаміку розвитку ушкодження, дозволяють оцінити швидкість і послідовність розвитку аномальних процесів.



Для випрямляча доцільно розглядати: коротке замикання фазової обмотки; обрив фазової обмотки; коротке замикання силового ключа; обрив силового ключа, а в схемі мостового інвертора: коротке замикання, викликане пробоем вентиля; обрив силового вентиля; порушення в роботі системи керування; зрив інвертора при струмових перевантаженнях або при порушеннях в роботі системи керування.

Моделювання схеми (рис 3.11) виконувалось при наступних припущеннях: індуктивні і активні опори в схемах лінійні, трифазна мережа - симетрична, ЕРС синусоїдальна і незмінна по амплітуді; всі напівпровідникові прилади зберігають свої вентиляльні властивості, а керовані ключі керованість, за винятком пошкоджених вентилів. Було прийнято, що в силовій схемі можлива лише одинична відмова, а будь-яка відмова носить стійкий характер, причому будь-який елемент може перебувати в одному з двох станів - повністю працездатному або повністю непрацездатному. Аварійний перехідний процес у випрямлячі може бути розбитий на кілька інтервалів в залежності від числа фаз, що беруть участь в протіканні струму. Для кожного інтервалу схема заміщення залишається незмінною всередині інтервалу і змінюється на його межі. Початкові умови для струмів в черговому інтервалі визначаються за кінцевими умовами для цих струмів на попередньому інтервалі.

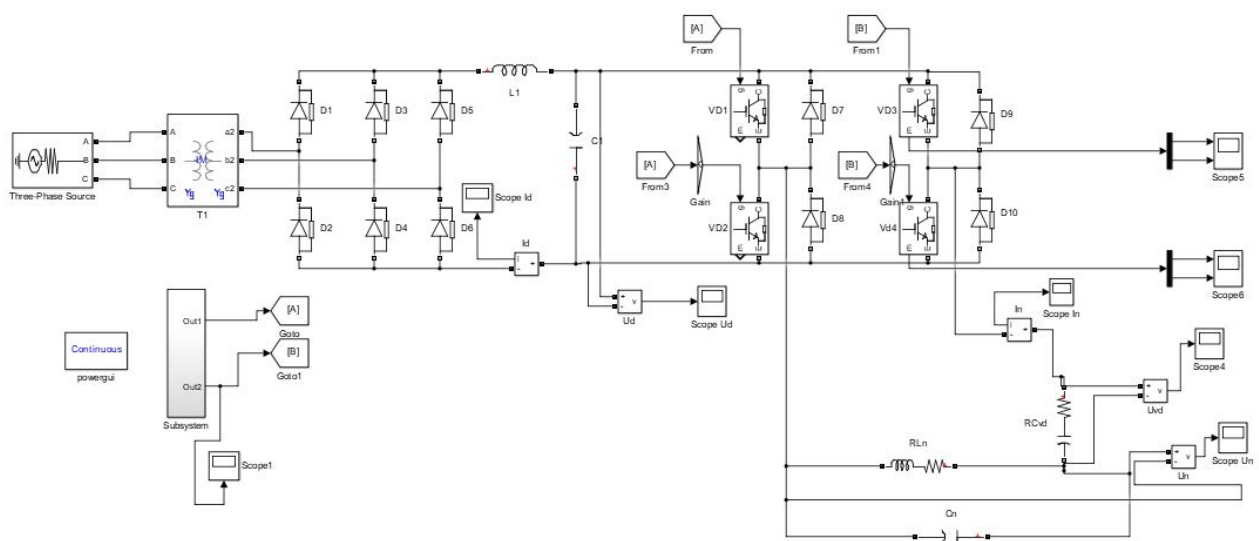


Рис. 3.11 Модель напівпровідникового перетворювача

Так при пробі силового вентиля в мостовій схемі перетворювача виникає режим «коротке замикання» [17, 43]. Якщо прийняти, що пробитий силовий вентиль 1 і аварійний процес починається в момент відкриття силового вентиля 3 - в схемі утворюється внутрішній короткозамкнений контур, струм якого під дією лінійної ЕРС  $e_{2ab}$  замикається через транзистори VD1 і VD3. Утворюється контур двофазного короткого замикання між фазами  $e_{2a}$  і  $e_{2b}$  (силовими вентилями 1 і 3). У момент часу, що відповідає моменту відкриття вентиля пошкодженої групи, відкривається силовий вентиль 5, і двофазне коротке замикання переходить в трифазне (між фазами  $e_{2a}$ ,  $e_{2b}$ ,  $e_{2c}$ ). Режим трифазного короткого замикання триває до тих пір, поки струм в силовому вентилі 3 не знизиться до нуля. З моменту часу, коли струм силового вентиля 3 стане рівним нулю, знову буде двофазне коротке замикання, але вже між фазами  $e_{2a}$  і  $e_{2c}$  (силовими вентилями 1 і 5).

У всіх перерахованих випадках в короткозамкнених контурах струми обмежені лише активним опором лінії передачі електроенергії  $R_a$ . При внутрішньому короткому замиканні вже на першому періоді повторення напруги живильної мережі мають місце надструми аварійного перевантаження вентилів.

Аналогічні процеси відбуваються і при короткому замиканні силових вентилів у схемі мостового інвертора з зустрічно-паралельними діодами.

На рис. 3.12. наведено еквівалентну схему заміщення перетворювача при короткому замиканні силового вентиля випрямляча, де а) - двофазне коротке замикання між силовими вентилями 1 і 3; б) - трифазне коротке замикання між силовими вентилями 1,3,5; в) - двофазне коротке замикання між силовими вентилями 1 і 5.

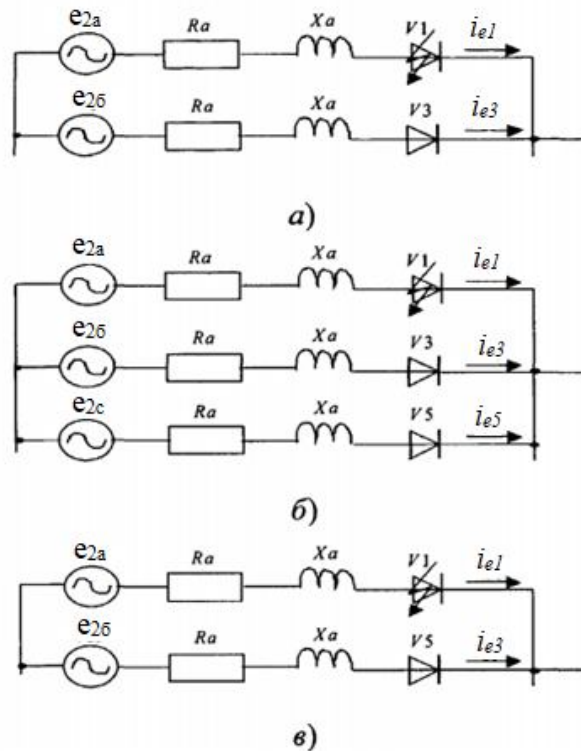


Рис. 3.12. Еквівалентна схема заміщення перетворювача при короткому замиканні силового вентиля випрямляча

Аварійний струм, що виникає в результаті пробоя силових вентилів інвертора. Внаслідок наявності короткозамкнених контурів в них відбувається перерозподіл запасів енергії. На реактивних елементах виникають значні перенапруги і аномально великі струми.

Проаналізувавши часові діаграми струмів і напруг від моменту розвитку відмови, можна сказати, що дані нештатні режими мають лавиноподібний характер, з високою швидкістю наростання струмів і напруг на елементах схеми, характеризуються значними перенапругами і аномально великими струмами в індуктивних елементах. Такі струми є серйозною небезпекою для вентилів і струмопровідних проводів в потужних установках. Тривалість розвитку цих процесів не перевищує одного періоду керування.

Внаслідок цього можна зробити наступний висновок: розвитку аварійного процесу при даних відмовах можна запобігти лише за допомогою системи захисту. Еквівалентна схема заміщення перетворювача при короткому замиканні силового вентиля інвертора представлена на рис. 3.13.

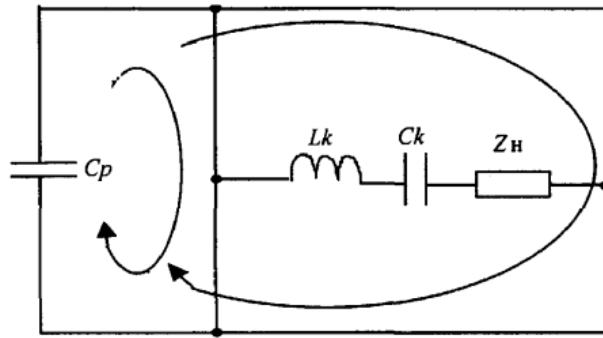


Рис. 3.13. Еквівалентна схема заміщення перетворювача при короткому замиканні силового вентиля інвертора

Результати аналізу аварійних режимів відображені у вигляді причинно-наслідкового зв'язку (табл. 3.1), який фіксує діагностичні ознаки і зіставляє їх з причинами їх появи. Дана таблиця показує, що зовнішні ознаки прояву дефектів в силових схемах можна пов'язати з кожним конкретним типом аварії, оскільки силові схеми відносяться до безперервних кіл і будь-яка відмова в схемі призводить до зміни струмозподілення у всіх вітках схеми і, як наслідок, до погіршення умов роботи всіх елементів схеми.

Спроба розглянути взаємозв'язок зовнішніх ознак (струмів і напруг на силових вентилях інвертора) і станів силової схеми інвертора не дає однозначної відповідності між ними [45].

Таблиця 3.1

Причина, зовнішня ознака	Обрив фазної обмотки В	Обрив кола живлення AI(S <sub>1</sub> )	Обрив силового вентиля В	Обрив силового вентиля AI(S <sub>2</sub> )	КЗ фазної обмотки В	КЗ кола живлення AI(S <sub>3</sub> )	КЗ силового вентиля В	КЗ силового вентиля AI(S <sub>4</sub> )
Зникнення напруги живлення AI	+				+	+		
Зменшення амплітуди вихідного струму	+							
Зникнення сигналу вихідного струму		+			+	+		
Зменшення амплітуди вихідної напруги	+							
Зникнення		+			+	+		

сигналу вихідної напруги								
Зникнення сигналу вихідної напруги			+				+	
Збільшення пульсацій вихідного струму			+	+				
Поява струмів КЗ на вентилях							+	+
Нерівномірне завантаження вентилів по току								+

### 3.3. Діагностичні моделі станів силових блоків електротехнічних систем

З аналізу методів діагностування було зроблено висновок, що найбільш доцільно проводити оцінку станів силових блоків за змінними станами і вихідним сигналам, і використовувати принцип діагностування на основі математичної моделі об'єкта.

Модель вентиляної пари автономного інвертора (рис. 3.14.а) можна розглядати як автомат Мура (рис.3.14 б). Вхідні і вихідні сигнали представлені в табл. 3.2 і 3.3.

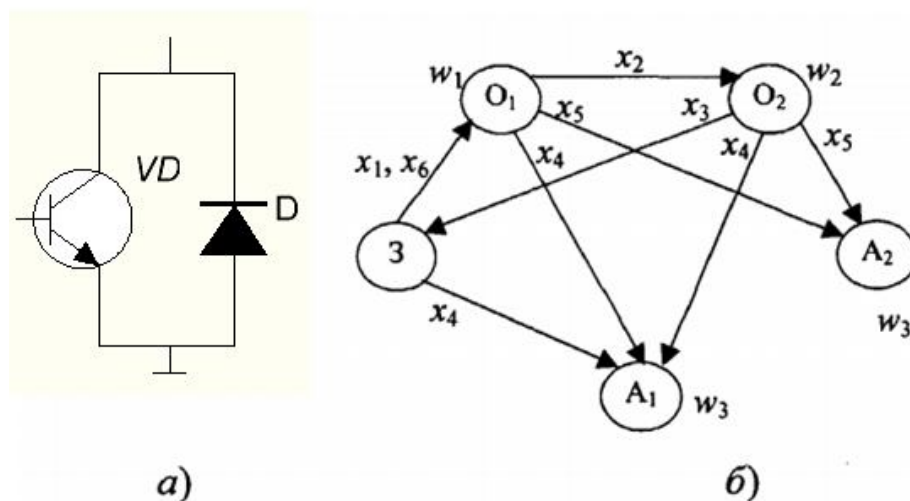


Рис. 3.14. Вентильна пара а); типи переходів б)

Таблиця 3.2

Кодове позначення	Вхідні сигнали
$x_1 (i_v \neq 0)$	Подано імпульс керування
$x_2 (i_v < 0)$	Вимикання тиристора і вмикання діода
$x_3 (i_v > 0)$	Вимикання вентиляльної пари
$x_4 (i_v = i_{кз})$	Пробій вентиля
$x_5 (u_v > 0)$	Напруга на вентилі позитивна

Таблиця 3.3

Кодове позначення	Вхідні сигнали
$w_1$	$i_T(t); u_T(t)$
$w_2$	$i_D(t); u_D(t)$
$w_3$	Аварійний сигнал $i_{кз}$

Можливі стани вентиляльної пари представлені в табл. 3.4

Таблиця 3.4

Кодове позначення	Вхідні сигнали
З	Закритий стан (обидва вентиля вимкнені)
$O_1$	Провідний стан (працює тиристор)
$O_2$	Провідний стан (працює діод)
$A_1$	Аварійний стан (один з вентилів вийшов з ладу в наслідок обриву)
$A_2$	Аварійний стан (один з вентилів вийшов з ладу в наслідок пробою)

В якості випрямлячів для перетворювачів підвищеної частоти найбільш часто використовується трифазна мостова схема (схема Ларіонова) [48], представлена на рис. 3.15.

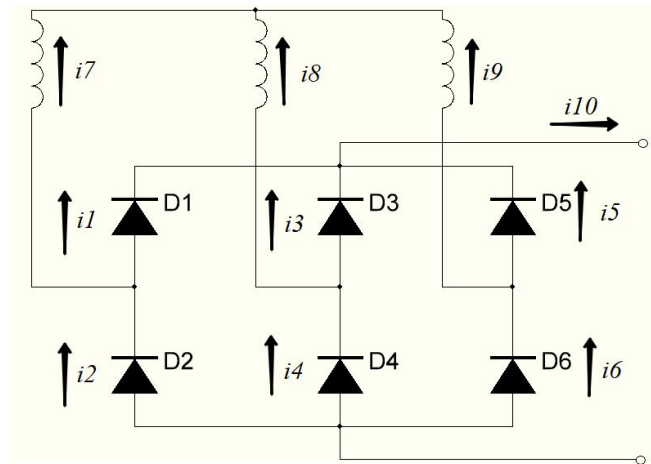


Рис. 3.15. Трифазний мостовий випрямляч

Діагностична модель випрямляча будується на основі його структури (рис. 3.16)

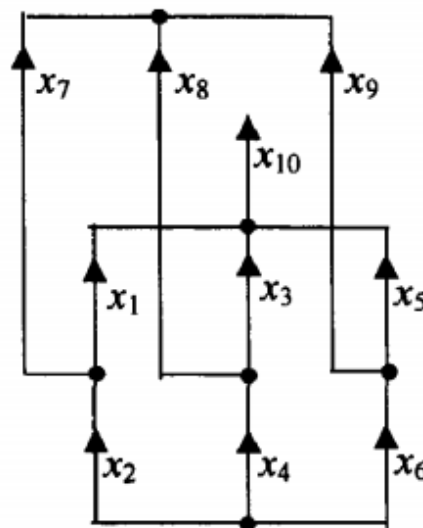


Рис. 3.6. Діагностична модель випрямляча

Всі режими роботи, залежно від струму розподілу в схемі, можна розділити на чотири непересічні множини:

- множина аварійних режимів, коли включеними виявляються два тиристора, що входять до складу одного «напівмоста», і через них тече весь струм живлення;

- множина «передаварійних» режимів, коли включеними виявляються відразу три тиристора, а струм тече одночасно в трьох плечах моста;
- множина робочих режимів, коли робота схеми, що містить несправний тиристор, не відрізняється від роботи справної схеми;
- множина, що складається з одного елемента (початковий режим), коли в схемі, що містить несправний тиристор, не виникає коло для протікання струму живлення.

Кожну множину можна описати логічними рівняннями:

$$\begin{aligned}
 F_a &= \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}} \cup \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}} \cup \\
 &\cup \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}}; \\
 F_n &= \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}} \cup \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}} \cup \\
 &\cup \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}} \cup \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}} \cup \\
 &\cup \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}} \cup \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}}; \\
 F_p &= \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}} \cup \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}} \cup \\
 &\cup \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}} \cup \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}} \cup \\
 &\cup \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}} \cup \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}}; \\
 F_n &= \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10}},
 \end{aligned}$$

де  $x_i$  – логічні сигнали датчиків струму(рис);  $F_a$ ,  $F_n$ ,  $F_p$ ,  $F_n$  – функції, які описують аварійний, напередаварійний, робочий та початкові режими. Після мінімізації виразів отримуємо:

$$\begin{aligned}
 F_a &= \overline{x_7 x_8 x_9 x_{10}}; \\
 F_n &= \overline{x_7 x_8 x_9 x_{10}}; \\
 F_p &= \overline{x_7 x_8 x_9} \cup \overline{x_7 x_8 x_9} \cup \overline{x_7 x_8 x_9}; \\
 F_n &= \overline{x_{10}}.
 \end{aligned}$$

Отже, для діагностування досить контролювати струми в фазах і струм в колі живлення.



Для автономного інвертора (АІ) широко використовується мостова схема з зустрічно паралельними діодами, вентильний блок якої наведено на рис. 3.17. На прикладі даної схеми побудуємо ДМ АІ.

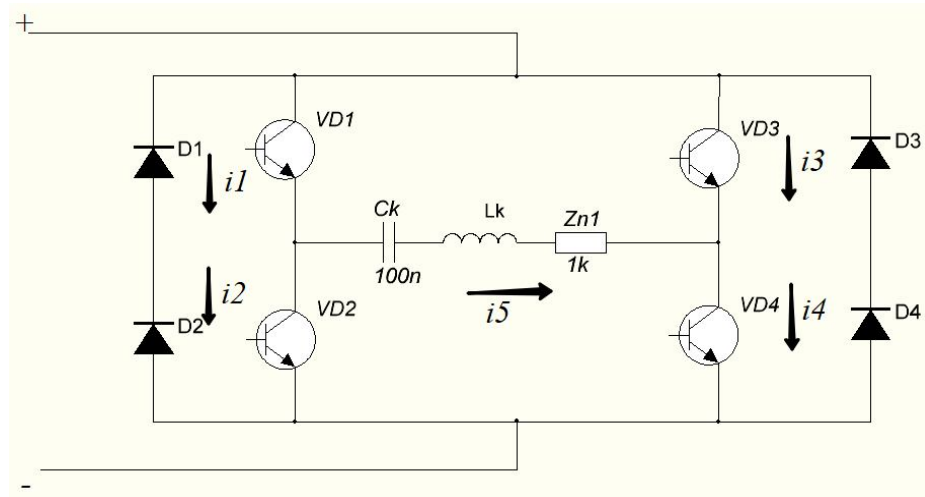


Рис. 3.17. Вентильний блок АІ

Діагностична модель АІ будується аналогічно ДМ В - на основі своєї структури. Як контрольовані параметри також використовуються струми, що протікають в силових вентилях. ДМ АІ приведена на рис. 3.18.

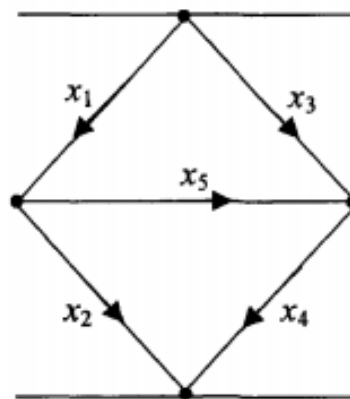


Рис. 3.18. Діагностична модель автономного інвертора

У ДМ параметром  $x$  позначаються логічні сигнали датчиків струму ( $x_i=1$  – струм через вентиль протікає,  $x_i=0$  - струм через вентиль не протікає),  $x_5$  -

може приймати будь-яке значення так як виконується діагностика струмів, що протікають в вентилях;  $i$  - номер гілки.

В схемі всі режими роботи можна розділити:

- робочий стан;
- стан короткого замикання, коли струм протікає одночасно в обох плечах моста;
- стан обриву вентиля.

Кожний стан можна описати логічними рівняннями:

$$F_p = \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} x_4 x_5 \cup \overline{x_1} x_2 \overline{x_3} \overline{x_4} x_5 \cup \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} x_4 x_5;$$

Однократна відмова

$$F_{кз1} = \overline{x_1} x_2 x_3 x_4 x_5 \cup x_1 \overline{x_2} x_3 x_4 x_5 \cup x_1 x_2 \overline{x_3} x_4 x_5 \cup x_1 x_2 x_3 \overline{x_4} x_5;$$

Двократна відмова

$$F_{кз2} = x_1 x_2 x_3 x_4 x_5;$$

$$F_o = \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \overline{x_4} x_5 \cup \overline{x_1} \overline{x_2} x_3 \overline{x_4} x_5.$$

де  $F_p$ ,  $F_{кз}$ ,  $F_o$ , - функції, що описують відповідно робочий режим, режим короткого замикання і режим обриву. Нанесемо функції режимів на карту Карно, кожна заповнена клітина відповідає несправності, кратність якої позначена індексом, знаком «X» позначені фізично не реалізуються табл.3.5.

Таблиця 3.5

$x_3 x_4 \backslash x_1 x_2$	00	01	11	10	00	01	11	10
00	X	X	X	X	X	X	X	X
01	X	$1_1$	$1_1$	P	X	X	X	X
11	X	$1_1$	$1_2$	$1_1$	X	X	X	X
10	X	P	$1_1$	$1_1$	X	X	X	X
	$X_5$				$\overline{X}_5$			

Після мінімізації виразів одержуємо:

$$F_A = x_2 x_4 \cup x_1 x_3.$$

Змінна  $X_5$  не бере участі в формуванні функції  $F_A$ , відповідного аварійного режиму. Отримана функція  $F_A$  є тестом контролюючим несправності  $F_{k31}$ ,  $F_{k32}$ ,  $F_o$ , спільно, тобто цей тест є діагностичним для будь-яких поєднань несправностей.

Отже, для діагностування необхідно контролювати струми в плечах моста  $AI$ .

Отримані результати дозволяють визначити місце розташування датчиків в схемі перетворювача, що контролюють стан перетворювача.

Згідно з отриманими даними необхідно встановити датчики, які вимірюють струми в кожній фазі  $B$ , струм в ланцюзі живлення і струми, що протікають через силові вентилі  $AI$ , що відповідає і практичним рішенням, приймаємо при реалізації функцій захисту на діючих установках ЕТС.

### 3.4 Загальна діагностична модель станів електротехнічної системи

При розробці діагностичної моделі ЕТС доводиться враховувати, що в перетворювачі як об'єкті діагностування тісно взаємопов'язані пристрої та елементи, що відрізняються функціональним призначенням і фізикою процесів. При описі їх технічного стану необхідно використовувати відповідні способи формалізації процесів (диференціальні, різницеві, логічні рівняння, структурні схеми, орієнтовані графи, кінцеві автомати). Синтез різномірних математичних моделей елементів ЕТС передбачає загальний математичний опис ЕТС як об'єкта діагностування. Найбільш доцільно, тому використання абстрактної динамічної системи, процес функціонування якої полягає в зміні стану системи під впливом зовнішніх і внутрішніх причин.

Узагальнена діагностична модель ЕТС будується на основі її структури, так як вона дозволяє не тільки задати мінімально необхідну глибину діагностування, але і відобразити конструктивні рішення реальної ЕТС, що дозволяють вирішити питання практичної реалізації системи діагностики. Спрощена структурна схема ЕТС показана на рис. 3.19.

Сучасний електротехнічний комплекс не має окремих конструктивно оформлених блоків системи керування, захисту і діагностики. Функції цих блоків зазвичай суміщені в єдиному пристрої - мікропроцесорної системи керування (МПСК). Основою МПСК є модуль контролера з розвинуеною програмної підтримкою. На контролер покладаються такі завдання: керування автономним інвертором, прийом, фільтрація і нормалізація сигналів датчиків, реалізація алгоритмів захисту, контроль і архівування процесу керування об'єктом і ін. В МПСК апаратно реалізуються тільки ті пристрої, функції яких не можуть бути реалізовані програмно. До таких пристроїв відносяться гальванічна розв'язка аналогових сигналів керування, пристрій узгодження і гальванічної розв'язки каналів RS422, формувачі імпульсів керування тиристорами  $P_1$ ,  $P_2$ , пристрій гальванічної розв'язки прийому логічних сигналів і пристрій видачі логічних сигналів. Вбудовані адаптери каналів RS-422 дозволяють включати МПСК в локальну мережу як абонента, віддаленого від сервера до 1000 м.

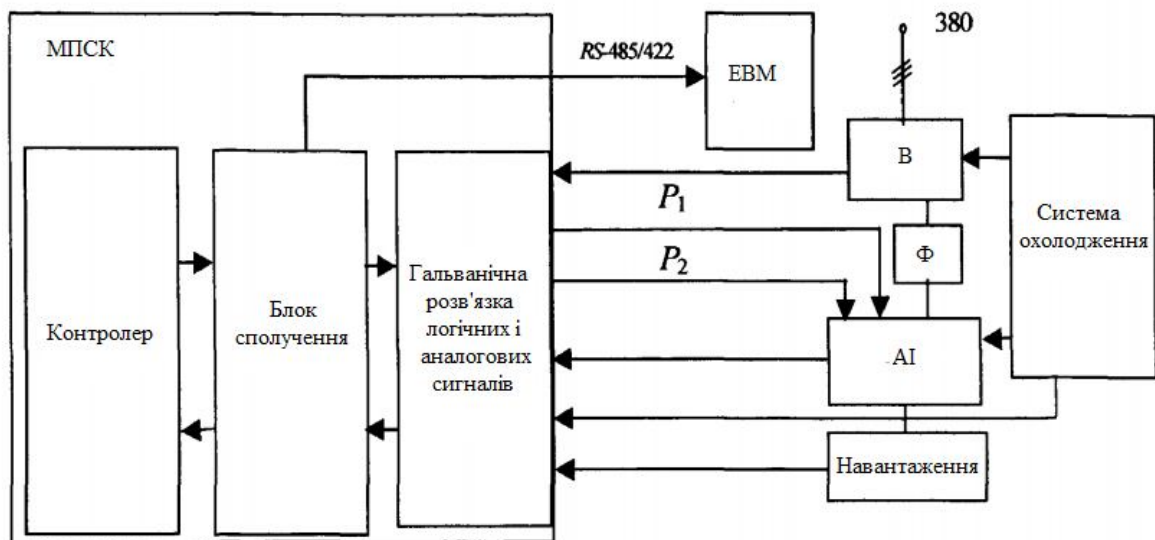


Рис.3.19. Структурна схема електротехнічної моделі

Живлення установки здійснюється від трифазної мережі через випрямляч (В). Далі через фільтр (Ф) напруга живлення подається на автономний інвертор (АІ), до якого підключається технологічна навантаження.

Для найбільшої відповідності завданням діагностування структурна схема ЕТС перетворена до виду, показаному на рис. 3.20. При пред'явленні значних системних вимог діагностики необхідний додатковий аналіз і перетворення функціональних схем окремих блоків. Побудова діагностичних моделей основних блоків електротехнічних установок дозволило визначити сукупність контрольних точок і вимірюваних параметрів. При цьому через необхідність забезпечення достатньої глибини діагностування і неможливості опису трифазних мостових схем випрямляча і інвертора лінійними передавальними функціями були виділені в окремі елементи в силовій частині - фазні модулі АІ і випрямляча, а в системі керування - прямий і зворотний канал регулювання. Такий поділ об'єкта буде відповідати вимозі отримання діагнозу з глибиною до змінного компонента об'єкта.

На рис. 3.20 прийняті наступні скорочення: К - контролер; БС1, БС2 - блоки сполучення; БР1, БР2 - блоки гальванічної розв'язки логічних і аналогових сигналів; КПВ - канал подачі охолоджуючої води; ДРТ - датчик реле тиску; Ф - фільтр; ФМВ1-ФМВ3, МІ1-МІ2, МНЛ- МНС - фазні модулі випрямляча, модулі плечей інвертора і навантаження відповідно; ДСФ1-ДСФ3 - датчики фазних струмів випрямляча; ДС1- ДС4 - датчики струмів, що протікають через силові вентиля АІ; Н - навантаження; ДСНЛ, ДСНС - датчики струмів навантаження, ДНН - датчик напруги навантаження,  $\cos\varphi$  - косинус фазового кута навантажувального контуру.

Дані схеми будуються з припущень, що при виході за межі допустимих значень хоча б одного з вхідних сигналів на виході функціонального елемента з'являється неприпустимий сигнал і функціональний елемент моделі буде вважатися дефектним.

Взаємодія між блоками ЕТС відображено спрямованими по стрілці лініями взаємозв'язку, що характеризують надходження відповідних сигналів з виходу одного пристрою на вхід іншого.

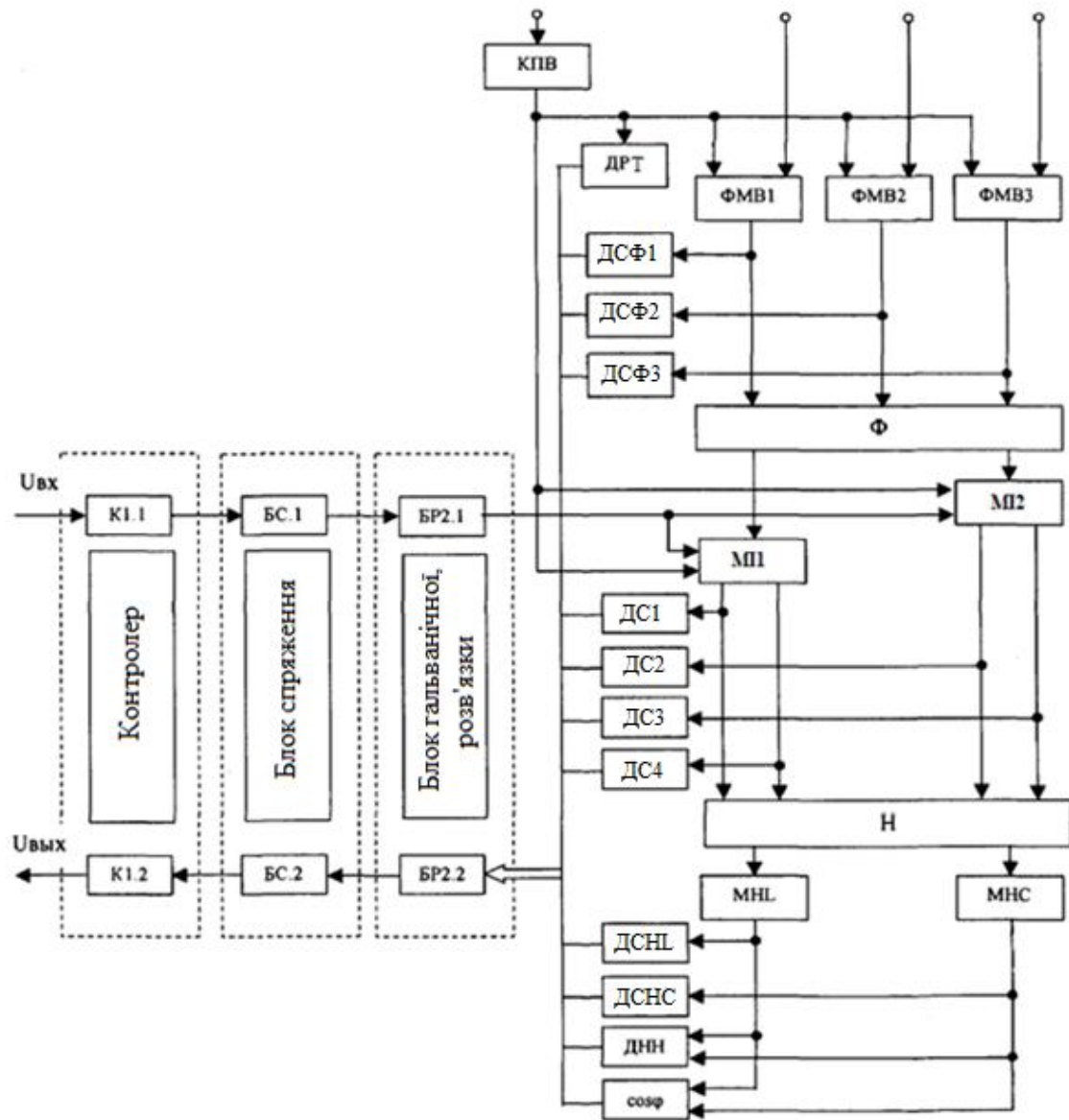


Рис. 3.20. Функціональна схема

Для отримання діагностичної моделі об'єкту кожен його функціональний елемент замінюється логічним блоком, що має один вихід і суттєві для даного виходу входи [50]. Як вихідних сигналів можуть розглядатися будь-які параметри, що характеризують зміни в стані структурної одиниці. Стан кожної одиниці оцінюється в двійковій системі за значеннями вихідних сигналів (1 - "в нормі", 0 - "не в нормі"). При виході за межі допустимих значень хоча б одного з вхідних сигналів на виході функціонального елемента з'являється неприпустимий сигнал, і функціональний елемент моделі буде вважатися несправним. Тому для розпізнавання технічного стану системи, як об'єкта

діагностування, вводиться безліч технічних станів об'єкта  $E_i$  де  $i = 0, 1, 2, \dots, |S|$ ) [30,41]. Клас  $E_0$  (при  $i = 0$ ) належить  $E$  відповідає справному стану об'єкта, а клас  $E_i$  (при  $i \neq 0$ ) – його несправного стану, викликаного появою дефекту в  $i$ -й складовій частини об'єкта.

При невеликій глибині діагностування діагностична модель збігається з функціональною схемою. В цьому випадку діагностична модель для ЕТС має вигляд, показаний на рис. 3.21.

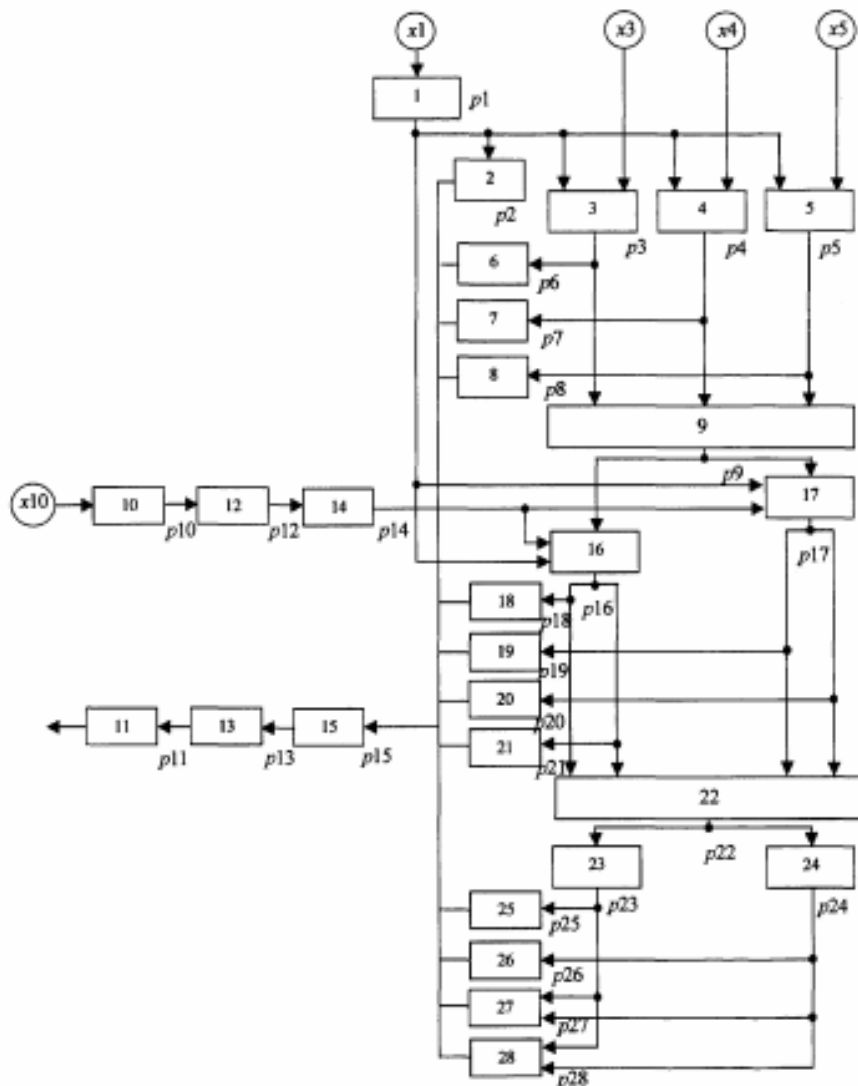


Рис. 3.21. Діагностична модель

Вхідні і вихідні сигнали об'єкта діагностування представлені дугами з символами  $x_i$  і  $p_i$ , де  $i$  - номер елемента логічної моделі, на вхід (з виходу) якого надходять сигнали. Елементи об'єкта представлені вершинами графа з індексами  $i$ , відповідними номерами елементів на функціональній моделі.

Вхідні зовнішні сигнали для наочності відповідно до номерами блоків позначені  $x_1, x_3, x_4, x_5, x_{10}$ . Згідно [51] зв'язок між зовнішніми і внутрішніми сигналами описується системою логічних рівнянь, яка враховує технічні стану елементів системи в  $e_1 - e_{28}$ .

$$p_1 = e_1 \cap x_1;$$

$$p_2 = e_2 \cap p_1;$$

$$p_3 = e_3 \cap x_3 \cap p_1;$$

$$p_4 = e_4 \cap x_4 \cap p_1;$$

$$p_5 = e_5 \cap x_5 \cap p_1;$$

$$p_6 = e_6 \cap p_3;$$

$$p_7 = e_7 \cap p_4;$$

$$p_8 = e_8 \cap p_5;$$

$$p_9 = e_9 \cap p_3 \cap p_4 \cap p_5;$$

$$p_{10} = e_{10} \cap x_{10};$$

$$p_{11} = e_{11} \cap p_{13};$$

$$p_{12} = e_{12} \cap p_{10};$$

$$p_{13} = e_{13} \cap p_{15};$$

$$p_{14} = e_{14} \cap p_{12};$$

$$p_{15} = e_{15} \cap p_2 \cap p_6 \cap p_7 \cap p_8 \cap p_{18} \cap p_{19} \cap p_{20} \cap p_{21} \cap p_{25} \cap p_{26} \cap p_{27} \cap p_{28};$$

$$p_{16} = e_{16} \cap p_1 \cap p_9 \cap p_{14};$$

$$p_{17} = e_{17} \cap p_1 \cap p_9 \cap p_{14};$$

$$p_{18} = e_{18} \cap p_{16};$$

$$p_{19} = e_{18} \cap p_{17};$$

$$p_{20} = e_{20} \cap p_{17};$$

$$p_{21} = e_{21} \cap p_{16};$$

$$p_{22} = e_{22} \cap p_{16} \cap p_{17};$$

$$p_{23} = e_{23} \cap p_{22};$$

$$p_{24} = e_{24} \cap p_{22};$$

$$p_{25} = e_{25} \cap p_{23};$$

$$p_{26} = e_{26} \cap p_{24};$$

$$p_{27} = e_{27} \cap p_{23} \cap p_{24};$$

$$p_{28} = e_{28} \cap p_{23} \cap p_{24}.$$



Загальна кількість можливих станів об'єкта діагностування при його розподілі на  $N$  логічних елементів і двох альтернативних результатів ("в нормі", "не в нормі") становить  $2^{N-1}$ . Визначити і врахувати практично таке велике число станів досить важко навіть для простих об'єктів діагностування. Тому в інженерній практиці припускають, що в об'єкті діагностування можливий дефект лише одного функціонального елемента. Тоді число можливих несправних станів об'єкта діагностування різко скорочується і стає рівним  $N$ . Множина  $E$  технічних станів об'єкта діагностування на 1 більше числа логічних елементів.

### 3.5 Синтез алгоритму пошуку несправностей в електротехнічній системі

Оптимальні алгоритми діагностування визначають число елементарних перевірок, достатніх для вирішення завдань діагностики. Для отримання оптимального алгоритму діагностування скористаємося методом теорії інформації [52], тобто при складанні алгоритму в якості ведучої функції використовується кількість інформації, що міститься в перевірці. Алгоритм починається з перевірки, що несе найбільшу кількість інформації, наступна перевірка вибирається з урахуванням результату попередньої, також виходячи з найбільшої кількості інформації. При цьому приймається ряд припущень: система несправна, в системі є тільки одна несправність, відомі апіорні ймовірності появи несправностей.

З цієї моделі пошук дефекту може здійснюватися на основі перевірок  $P=\{p_i\}$ , перелік яких міститься в підсумковій ТФН (таблиця 3.7). Кожна перевірка містить деяку інформацію  $I_{p_i \rightarrow s}$  про стан об'єкта:

$$I_{p_i \rightarrow s} = H(S) - H(S / p_i),$$

де  $H(S)$  – ентропія стану системи, яка визначається до початку її функціонування;  $H(S/p_i)$  – середня умовна ентропія стану системи за умови здійснення перевірки  $p_i$ .

Ентропія стану системи може бути обчислена за формулою

$$H(S) = - \sum_{k=1}^N q_k \log_2 q_k.$$

Значення  $q_k$  визначають на основі статистичних даних про надійність елементів системи. Якщо немає достатнього обсягу статистичного матеріалу, то задача може бути вирішена наступним чином. Ймовірність відмови елемента з одним входом і одним виходом приймається за  $q_0$  з  $n$ -входами - за  $nq_0$ . Ймовірності  $q_i$  всіх елементів підсумовуються і дорівнюють 1. З цієї умови знаходиться величина  $q_0$ , а потім розраховуються значення інших ймовірностей  $q_i$ .

Пошук несправності по таблиці ТФН починається з перевірки, що несе найбільшу кількість інформації. Як встановлено в [53] сума ймовірностей відмов такої перевірки близька до 1/2. Наступну перевірку вибирають за допомогою того ж критерію, що і першу, але виходячи з нового стану системи, яка характеризується ентропією  $H(S/p_i)$ , тоді:

$$I_{(p_i/p_k) \rightarrow s} = H(S / p_k) - H(S / p_i, p_k).$$

Якщо при перевірці визначено, що дефект виявлено ( $R_i = 0$ ), то наступну перевірку, вибирають по таблиці, що містить тільки  $m$  елементів, по максимуму кількості інформації:

$$I_{p_k \rightarrow S/R_i=0} = H(S / R_i = 0) - H(S / p_k).$$

Якщо несправність не знайдено, тобто результат перевірки  $R_i = 1$ , то по таблиці, що містить елементи з номерами  $m+1, \dots, N$ , знаходять:

$$I_{p_k \rightarrow S/R_i=1} = H(S / R_i = 1) - H(S / p_i).$$

Відбір перевірок триває до тих пір поки  $H(S/p_1, p_2, \dots, p_k)$  не стане рівною нулю, тобто  $I_{P \rightarrow S} = H(S)$  а безліч  $E$  не буде розділене на окремі стани (рис. 3.22).

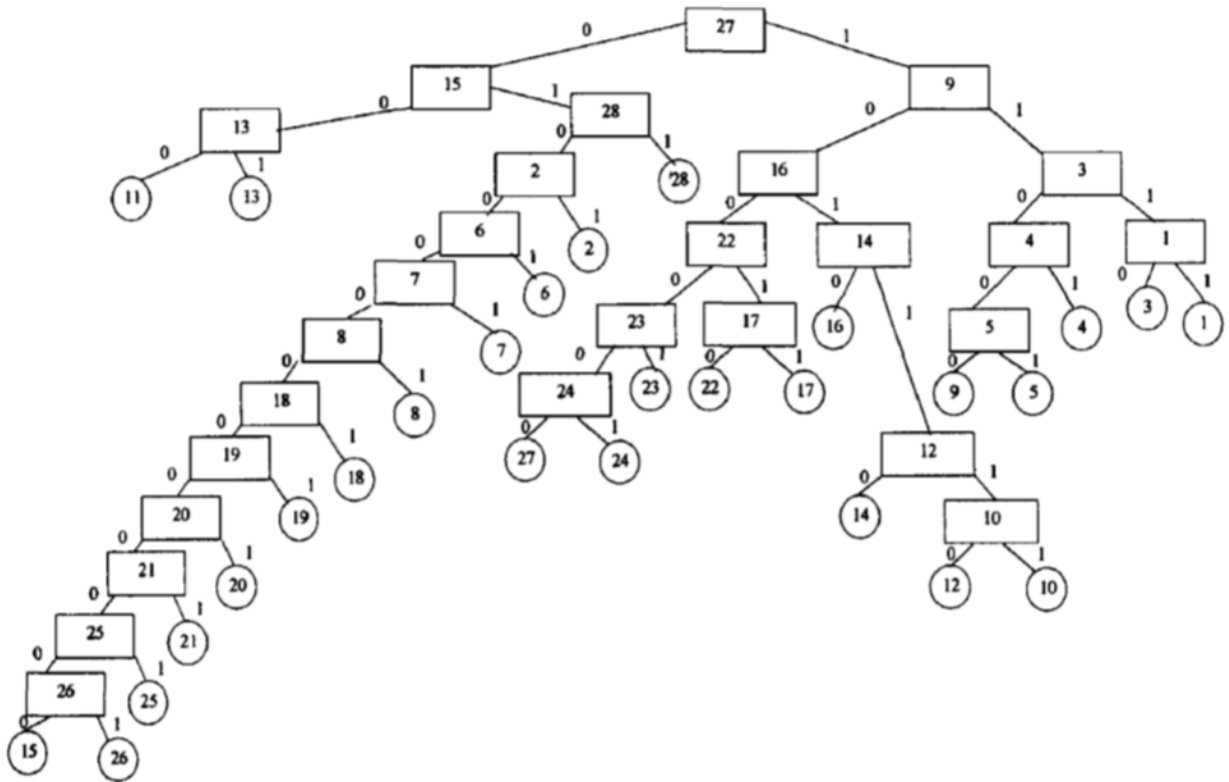


Рис.3.22. Дерево пошуку несправностей

Внутрішні вершини дерева пошуку відмов є елементарні перевірки  $p_j$  технічного стану  $j$ -х елементів логічної моделі об'єкта діагностування, кінцеві вершини графа відображають ті  $j$ -ті елементи, несправність яких виявлено, а дуги графа відповідають результату перевірки технічного стану  $j$ -го елемента, з вершини якого виходять дуги. Для наочності кінцеві вершини графа зображені квадратами з номерами елементів, несправності яких виявлені, а над дугами вказується справний (1) або несправний (0) технічний стан  $j$ -го елемента, з вершин якого виходять дуги. Число перевірок в програмі пошуку по даному алгоритму значно менше, ніж при послідовних перевірках елементів[34, 43].

$$p_1 \cap p_3 \cap p_4 \cap p_5 \cap p_6 \cap p_7 \cap p_8 \cap p_{10} \cap p_{13} \cap p_{17} \cap \\ \cap p_{18} \cap p_{19} \cap p_{20} \cap p_{21} \cap p_{23} \cap p_{24} \cap p_{25} \cap p_{26} \cap p_{28}$$

або

$$p_3 \cap p_9 \cap p_{11} \cap p_{12} \cap p_{14} \cap p_{15} \cap p_{16} \cap p_{22} \cap p_{27}$$

Визначення мінімальної сукупності перевірок об'єкта діагностування дозволяє спростити подальшу технічну реалізацію системи діагностування,

оскільки скорочує число елементів, що вимагають перевірки їх технічного стану, без зменшення необхідної глибини діагностування.

### 3.6 Аналіз працездатності моделі напівпровідникового перетворювача

У середовищі *Matlab Simulink* розроблена модель напівпровідникового перетворювача для реалізації та аналізу можливих дефектів перетворювача (рис. 3.23).

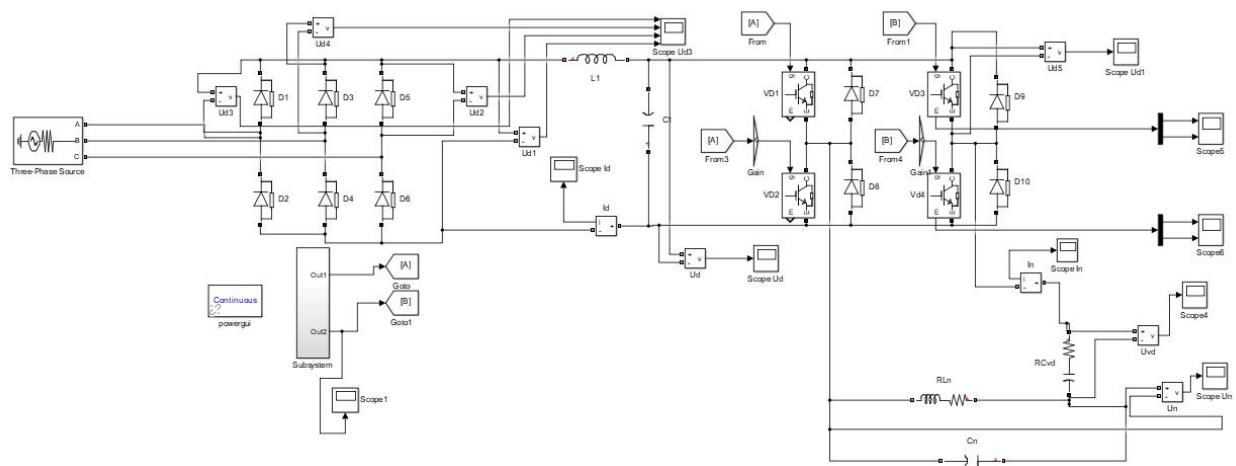


Рис 3.23 Діагностична модель справного перетворювача

При проектуванні було прийнято у системі в один і той же час можливий тільки один дефект. Осцилограми напруг на діодах випрямляча представлені на рис. 3.24, осцилограми напруги та струму на виході випрямляча представлені на рис. 3.25, осцилограми напруги та струму навантаження представлені на рис. 3.26.

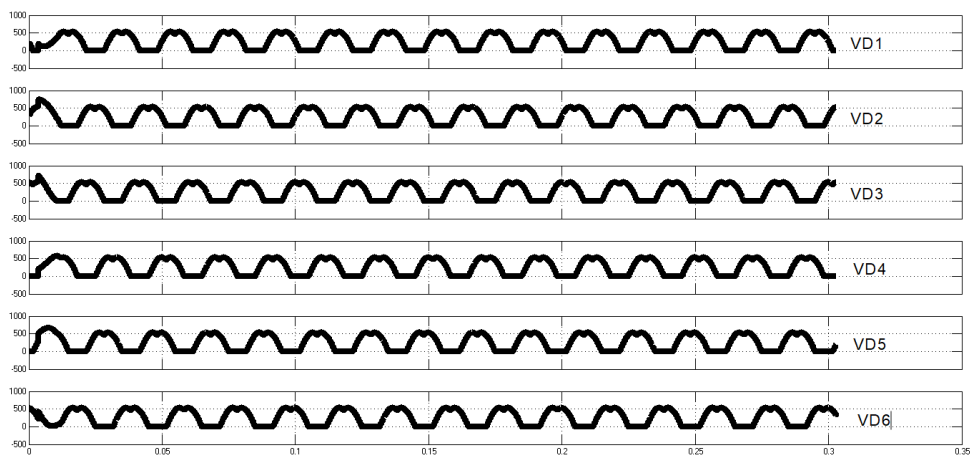
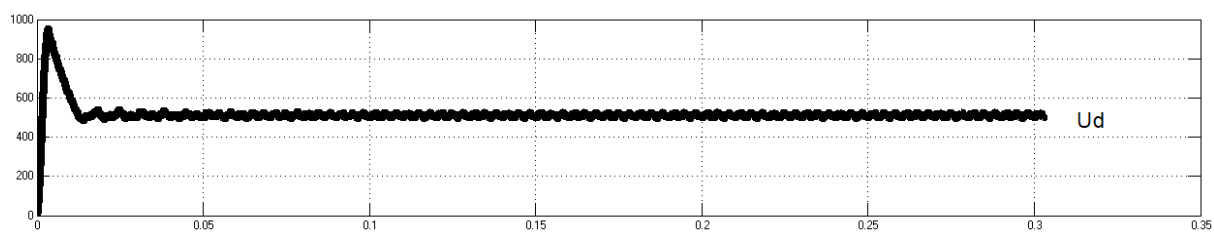
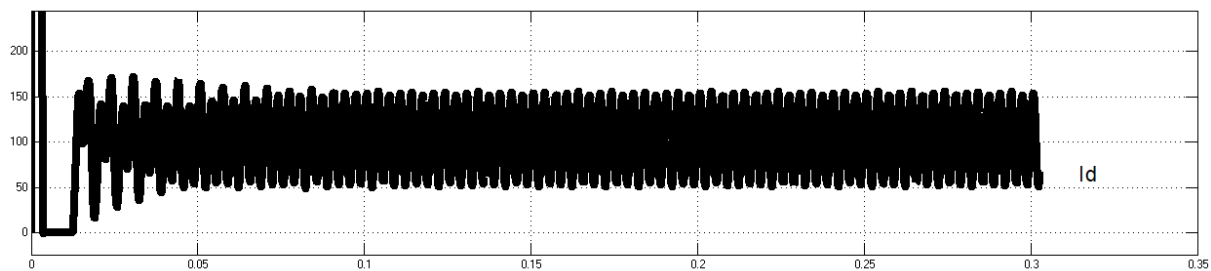


Рис 3.24 Напруга на діодах випрямляча

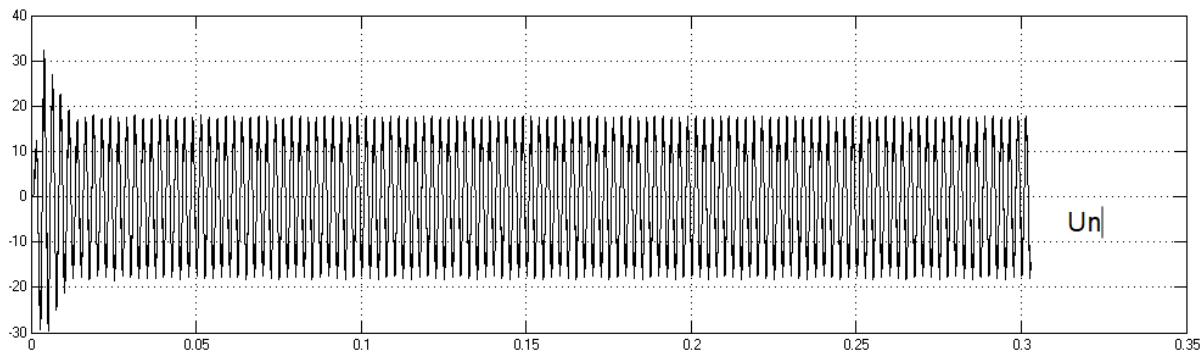


а)



б)

Рис 3.25. а) напруга на виході випрямляча; б) струм на виході випрямляча



а)



Моделювання проводилося при наступних припущеннях: індуктивні і активні опори в схемах лінійні, трифазна мережа - симетрична, ЕРС синусоїдального і незмінні по амплітуді. Вважалося, що всі напівпровідникові прилади зберігають свої вентиляльні властивості, а тиристори керованість, за винятком пошкоджених вентилів. Було прийнято, що в силовій схемі можлива лише одинична первинна відмова, а будь-яка відмова носить стійкий характер, причому будь-який елемент може перебувати в одному з двох станів - повністю працездатному або повністю непрацездатному. Моделі, що імітують перераховані вище види відмов і результати моделювання, представлені у вигляді часових діаграм струмів і напруг на елементах схеми, наведені в додатках 1 – 6 відповідно.

### **Висновки до розділу 3**

1. Розроблені моделі розвитку аварійних ситуацій силових блоків, що дозволяють спостерігати за динамікою розвитку пошкоджень, оцінювати швидкість і послідовність розвитку аномальних процесів НПП, показали, що розробка системи діагностування і прогнозування станів складних НПП доцільна лише для виявлення поступових відмов, викликаних старінням і зносом обладнання,
2. Розроблені діагностичні моделі станів силових блоків і загальна діагностична модель станів НПП дозволили визначити мінімальну сукупність діагностичних ознак і точки знімання діагностичної інформації.
3. Розроблена модель НПП у середовищі *Matlab Simulink* для імітації різних аварійних режимів.

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

Стартап, будучи формою малого ризикового підприємництва, за останні десятиліття, набув широкого розповсюдження у світі через спрощення бар'єрів входу в ринок (із появою інтернету як предмету комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн), і вважається однією із складових інноваційної економіки. Тому що, завдяки мобільності та великій кількості стартап-проектів загальна кількість інноваційних ідей збільшується.

Однак, процес створення та ринкового впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, успішними на ринку стає лише невелика частка, що за різними оцінками складає від 10% до 20%. Сама ідея стартап-проекту, окремо, майже нічого не коштує: головним завданням керівника проекту, на початковому етапі його існування, є перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування послуги для визначеної групи клієнтів за наявних ринкових умов.

Розробка та введення стартап-проекту на ринок передбачає собою багато здійснених кроків, де визначають ринкові графік, перспективи проекту, принципи організації виробництва аналіз ризиків та фінансовий аналіз і заходи з просування пропозиції для інвесторів. Отже, етапи розробки стартап-проекту можна так:

### ***Етапи розробки стартап-проекту***

#### ***1. Маркетинговий аналіз стартап-проекту:***

- опис ідеї проекту та визначення загального напрямку використання потенційного товару чи послуги, їх відмінність від конкурентів;
- аналіз ринкових можливостей реалізації проекту;
- стратегія ринкового впровадження потенційного товару в межах проекту.

#### ***2. Організація стартап-проекту:***

- план-графік реалізації стартап-проекту;



- основні засобах та нематеріальні активи;
- визначення планового обсягу виробництва потенційного товару, на основі чого відбувається формулювання потреби у матеріальних ресурсах та персоналі;
- розрахунок загальних початкові витрат на запуск проекту та планових загальногосподарських витрат, що необхідні для реалізації проекту.

### 3. *Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту:*

- обсяг інвестиційних витрат;
- розрахунок основних фінансово-економічних показників проекту та визначення показників інвестиційної привабливості проекту (запас фінансової міцності, рентабельність продажів та інвестицій, період окупності проекту);
- визначення рівню ризику проекту, основні ризики проекту та шляхи їх запобігання (реагування на ризики).

### 4. *Заходи з комерціалізації проекту:*

- визначення цільової групи інвесторів та опису їх ділових інтересів;
- складання інвест-пропозиції (оферти): стислої характеристики проекту для попереднього ознайомлення інвестора із проектом;
- планування заходів з просування оферти: визначення комунікаційних каналів та площадок та планування системи заходів з просування в межах обраних каналів;
- планування ресурсів для реалізації заходів з просування оферти.

Означені етапи, реалізовані послідовно та вчасно – створюють передумови для успішного ринкового старту. Проте фахівці зі створення та розвитку стартап-проектів окремо відзначають, що відсутність маркетингових знань та умінь, що уможлиблюють розробку ринково затребуваного проекту із вихідної ідеї, є основною причиною високого рівня банкрутств стартап-компаній, і ця проблема може бути вирішена за рахунок навчання винахідників.

#### 4.1 Опис ідеї проекту

Опис ідеї стартап – проекту наведено в табл. 4.1 , а визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту в табл. 4.2.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка програмного забезпечення для діагностики та прогнозування стану силових напівпровідникових перетворювачів, моделювання різних станів аварійних режимів	Промислова електроніка	Запобігання виходу з ладу від простих до великих і дорогих систем

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї (чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів

Таблиця 4.2.

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1	Конкурент2	Конкурент3			
1.	Діагностика в реальному часі	+	-	-	-			+
2.	Порівняння	+	+	+	+		+	

	стану зі станом роботи в нормальном у режимі							
3.	Сповіщення про дефект у певному каскаді схеми	+	+	+	+		+	

## 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Технологічна здійсненність ідеї проекту наведено в табл. 4.3 та 4.4.

Таблиця 4.3.

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Прогнозування стану напівпровідникових перетворювачів	Розробка алгоритму, дослідження	Наявна	Доступна

Таблиця 4.4.

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	20
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Поступово зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Масове розповсюдження у вигляді програмного забезпечення
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Згідно з ДСТУ
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	80

Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту та характеристика потенційних клієнтів в табл. 4.5.

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Збільшення тривалості роботи напівпровідникових пристроїв	Великі підприємства що займаються виготовленням електронної техніки	Експлуатація згідно сертифікаційних правил	- до продукції Надійність Якість Новизна - до компанії Пунктуальність

Фактори загроз наведено в таблиці 4.6, фактори можливостей в таблиці 4.7.

Таблиця 4.6.

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Збій програмного забезпечення	Наявність нових вірусів, що можуть занести зміни у прошивку ПЗ	Заміна пакету ПЗ

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Якість діагностики системи	Якісно написане програмне забезпечення	Залучення

Степеновий аналіз конкуренції на ринку наведено в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8.

## Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Вказати тип конкуренції - чиста	В кого краще – в того і купують.	Покращення товару та обслуговування.
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний	Належить до вузького ринку збуту.	Розширення функціоналу та орієнтації користувачів.
3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Притаманна лише в середині однієї галузі застосування.	Розширення функціоналу та галузей застосування.
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Відрізняється видом схеми електричної, підбором компонентів між конкурентами.	Розширення функціоналу пристрою.
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Чим дешевше – тим привабливіше, чим краще тим рентабельніше.	Зниження собівартості та покращення якості товару.
6. За інтенсивністю - не марочна	Не жорстка конкуренція.	Не агресивні форми піару.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.9.

## Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ручне ввімкнення системи захисту від обледеніння.	Швидкодія системи більше, тому і привабить більше покупців

SWOT- аналіз стартап-проекту наведено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10.

## SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Алгоритм Оптимізоване програмне забезпечення, яке швидко працює, при цьому, не сильно загрузає оперативну пам'ять на ПК	Слабкі сторони: Велика ціна
Можливості: Сповіщення про утворення дефекту на самому початковому рівні його формування	Загрози: Нові віруси, які «обходять» антивірус, можуть занести зміни у ПЗ

Визначення базової стратегії розвитку в табл. 4.11.

Таблиця 4.11.

## Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Так	Ні	агресивна

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару в 4.12.

Таблиця 4.12

## Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Забезпечення довгої тривалості життя напівпровідникових систем	Автоматизована діагностика для запобігання появи дефекту	Сповіщає споживача про певний дефект у певному каскаді на самому початку утворення дефекту

Визначення меж встановлення ціни наведено в табл. 4.13.

Таблиця 4.13.

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	Немає	немає	Немає	5000/10000

У результаті маркетингового аналізу, можна зробити висновок, що при перспективі реалізації запропонованих науково-технічних рішень та пропозицій, оцінці можливості їх ринкового впровадження, можна стверджувати, що розроблений проект має можливість ринкової комерціалізації та може бути рентабельним проектом на ринку. Зростання попиту на електротехніку додає масовості придбання подібних пристроїв, але створює жорсткі конкурентні умови виходу на ринок.

Наразі, проект має високі перспективи впровадження з огляду на сучасний стан електротехніки, що потребує нових економних рішень. Бар'єрами входження на ринок може бути відсутність початкового розуміння призначення цього ПЗ, сильний конкурентний тиск з боку фірм аналогічних продуктів, потреба у великій кількості кваліфікованих кадрів та дорогої точної апаратури. Але, при правильному розставленні пріоритетів, можна себе на ринку і перетворити стартап-проект на компанію, яка приносить прибуток.

Подальша імплементація проекту є доцільною та рентабельною.

## ВИСНОВКИ

1. Виконано огляд і порівняння основних методів діагностики перетворювачів. Досліджено процес аналізу основних діагностичних параметрів перетворювачів. Досліджено основні види дефектів та точки знаття інформації.

2. Розроблені моделі розвитку аварійних ситуацій силових блоків, що дозволяють спостерігати за динамікою розвитку пошкоджень, оцінювати швидкість і послідовність розвитку аномальних процесів НПП, показали, що розробка системи діагностування і прогнозування станів складних НПП доцільна лише для виявлення поступових відмов, викликаних старінням і зносом обладнання.

3. Розроблені діагностичні моделі станів силових блоків і загальна діагностична модель станів НПП дозволили визначити мінімальну сукупність діагностичних ознак і точки знімання діагностичної інформації.

4. Розроблений алгоритм пошуку несправностей на основі таблиці функцій несправностей дозволив отримати мінімальну сукупність елементарних перевірок, що спрощують реалізацію системи діагностування за рахунок скорочення числа елементів, що вимагають перевірки.

5. Розроблена модель НПП у середовищі *Matlab Simulink* для імітації різних аварійних режимів.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Абрамов О.В., Розенбаум А.Н. Прогнозирование состояния технических систем. -М.: Наука, 1990. - 126 е.: ил.
2. Александровский В.А. Регулируемый полупроводниковый преобразователь электрической энергии: Учеб. пособие / Виноградов П.Ю., Жерненко А.Г. - СПб. - 2000. - 19 е.: ил.
3. Александровская Л.Н., Афанасьев А.П., Лисов А.А. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем: Учебник. - М.: Логос, 2001.-208.: ил.
4. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем: Учеб.пособие. -М.:Высш.школа,1982.-231с., ил.
5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1988.
6. Ветров В.И. Электромеханические преобразователи, диагностика и защита: Учеб. пособие / Ерушин В.П, Тимофеев И.П. - Новосибирск. - 2000.- 237 е.: ил.
7. Гитцевич А.Б., Зайцев А.А., Мокряков В.В. и др./Под ред. Голомедова А.В. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры: Справочник. -М.: Радио и связь, 1988. - 528с.
8. Глазунов Л.П., Смирнов А.Н. Проектирование технических систем диагностирования. - Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. Отд-ние, 1982. - 168 е., ил.
9. Глух Е.М., Зеленов В.Е. Защита полупроводниковых преобразователей. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 152 с.
10. Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н. Введение в системный анализ: Учебное пособие/ Под ред. Л.А. Петросяна. - Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1988. 232 с.
11. Дубовой В.Г., Осотов В.Н., Шилов В.И. О концепции развития системы диагностики электроэнергетического оборудования в регионе Урала. - Электрические станции, 1998, № 3.

12. Заболев Р.Я. Аварийные режимы в вентильных преобразователях: Учеб. Пособие. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1996. - 72 с.

13. Замятин В.Я., Кондратьев В.В., Петухов В.М. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: Справочник. - М.: Радио и связь, 1988.-576 с.

14. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике: Учеб. Для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 496 с. (Сер. Математика в техническом университете; Вып. XXI, заключительный).

15. Интеллектуальные системы управления с использованием нечеткой логики: Учебное пособие / В.И. Васильев, Б.Г. Ильясов; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа, 1995. - 80 с.

16. Калабеков Б.А., Лapidус В.Ю., Малафеев В.М. Методы автоматизированного расчета электронных схем в технике связи: Учебное пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1990. - 272с.

17. Карамзина А.Г. Исследование и моделирование работы электротехнологических установок с вентильными преобразователями // Микроэлектроника и информатика - 2002: Матер, докл. девятой всерос. межвуз. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: - М.: МИЭТ, 2002. С. 228.

18. Карамзина А.Г. Исследование электротехнологических систем с применением современных информационных технологий // Матер, докл. V Междунар. молодеж. науч.-практ. конф. «Человек и Космос»: - Днепропетровск: НЦАОМУ, 2003. С. 180.

19. Карамзина А.Г. Моделирование системы управления технологическим комплексом для индукционного нагрева металлов // Интеллектуальные системы управления и обработки информации: Матер, докл. Междунар. молодежи, науч.-техн. конф. - Уфа: УГАТУ, 2001. С.119.

20. Карамзина А.Г. Разработка динамических моделей электротермических объектов // Радиоэлектроника, электротехника и

энергетика: Матер, докл. седьмой междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. - М.: Издательство МЭИ, 2001. Т.2. С. 80-81.

21. Карамзина А.Г. Синтез и оптимизация алгоритмов диагностирования функционального состояния электротехнологических систем. // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Матер, докл. Девятой междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. - М.: МЭИ, 2003. Т.2. С. 56-

22. Михайлов Ю.Б. Математические основы повышения точности прогнозирования количественных характеристик процессов (в технике, экономике, экологии, социологии, бизнесе). М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2000, - 206с.

23. Мироновский Л.А. Функциональное диагностирование динамических систем: Научное издание/СПб., 1998. 256 е.: ил.

24. Мозгалецкий А.В., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика (непрерывные объекты) Учеб. пособие для вузов. -М.:Высш.школа,1975. — 207 е.: ил.

25. Надежность и эффективность в технике: Справочник т.2. математические методы в теории надежности и эффективности/ Под ред. Б.В. Гнеденко - М.: Машиностроение, 1987.- 280 е.: ил.

26. Надежность и эффективность в технике: Справочник т.9. Техническая диагностика/ Под общей ред. В.В. Ключева, П.П. Пархоменко - М.: Машиностроение, 1987.- 352 е.: ил.

27. Намитков К.К, Ильина Н.А., Шкловский И.Г. Аппараты для защиты полупроводниковых устройств. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 280 с.

28. Нефедов А.В., Гордеева В.И. Отечественные полупроводниковые приборы и их зарубежные аналоги: Справочник. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1986. - 288с.

29. Пархоменко П.П. , Согомонян Е.С. Основы технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства) / Под ред. Пархоменко П.П. - М.: Энергия, 1981 - 320с.

30. Повышение надежности работы тиристорных источников питания индукционных установок / Белкин А.К., Зайнашев В.К., Павлов С.В., Рыбенкова О.Н. Межвузовский научный сборник «Системы управления энергетическими установками и комплексами преобразования энергии»- Уфа: Изд-во УАИ, 1987.

31. Прогнозирование состояния тиристоров в тиристорных преобразователях частоты / Белкин А.К., Гусев Ю.М., Рогинская Л.Э., Шуляк А.А. - Электронные компоненты. - 2002. - № 6. - С. 82-83.

32. Полупроводниковые выпрямители / Е.И. Беркович, В.Н. Ковалев, Ф.И. Ковалев и др.; Под ред. Ф.И. Ковалева и Г.П. Мостковой. - 2-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1978.-448 с.

33. Техническая диагностика вентильных преобразователей/В.В.Маркин, В.Н.Миронов, С.Г.Обухов. -М.: Энергоатомиздат, 1985 - 152с.

34. Тиристорные преобразователи частоты/ А.К.Белкин, Т.П.Костюкова, Л.Э.Рогинская, А.А.Шуляк. - М.: Энергоатомиздат, 2000, - 263 е.: ил.

35. Тихомиров В.А., Годунов А.И. Концепция информационно-вероятностного подхода в теории принятия решений Изд-во ПГУ, г. Пенза, 1999 г.

36. Бенда Дітмар. Пошук несправностей в електричних схемах; СПб .: БХВ-Петербург, 2010. - 256 с .: іл. - (Електроніка)

37. Диагностика электрических цепей/ Н.В. Киншт, Г.Н. Герасимова, М.Л. Кац. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 192., ил.

38. Хорольский, В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения: учебное пособие. / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. – М: Изд-во Инфра-М, 2013. - 288с.

39. Диагностика электроэнергетического оборудования : учебное пособие / Е. Е. Привалов. – М.- Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 227 с.

40. Диагностика электрических цепей/ Н.В. Киншт, Г.Н. Герасимова, М.Л. Кац. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 192., ил.

41. Хорольский, В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения: учебное пособие. / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. – М: Изд-во Инфра-М, 2013. - 288с.

42. Электротехническое материаловедение: учебное пособие / Е. Е. Привалов. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 234 с.
43. Диагностика электроэнергетического оборудования : учебное пособие / Е. Е. Привалов. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 227 с.
44. Бондаренко В.М., С.Н. Редковец. Методы диагностики электрических цепей. Киев, 1985, 44 с
45. Казаков А.В. Надежность, диагностика элементов энергетического оборудования: учеб. пособие. Томск, Изд-во ТПУ, 2010, 224 с.
46. Матусевич, О.О., Багатоаспектна оцінка технічного стану силового устаткування тягових підстанцій / О. О. Матусевич, В. Г. Сиченко // Энергосбережение на ж.д. транспорте и в промышленности (Воловець, 11.06 - 14.06.2013): тез. IV міжнародн. наук.- практ. конф. / МОН України, Дніпропетр. нац. ун-т залізн. транспорт. ім. акад. В Лазаряна. – Д. : ДНУЗТ, 2013. – С. 78-80.
47. Мозгалеvский, А.В. Техническая диагностика (Непрерывные объекты) / А.В.Мозгалеvский, Д.В. Гаскаров - М.: Высшая школа, 1975.–207с.
48. Киншт Н.В., Киншт А.Н. Формализация некоторых задач диагностики электрических цепей. – АиТ, 1973, № 2.
49. Киншт Н.В. Разрешимость задачи диагностики электрической цепи при вариации известных параметров. – Теоретическая электротехника, 1978, вып. 25.
50. В. А. Ведешенков, Организация самодиагностирования технического состояния цифровых систем, Автомат. и телемех., 2003, выпуск 11, 165–182
51. В. А. Ведешенков, О диагностировании отказавших модулей и связей в цифровых системах с использованием модели БГМ, втомат. и телемех., 2002, выпуск 2, 159–171
52. Управление техническим состоянием динамических систем. / А.И.Буравлев, Б.И.Доценко, И.Е.Казаков; Под общ. ред. И.Е.Казакова. - М.: Машиностроение. 1995. - 240 с.: ил.

53. Символьный анализ и диагностика линейных электрических цепей методом схемных определителей / С. А. Курганов, В. В. Филаретов: Учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 228 с. ISBN 5–89146–300-0.

## ДОДАТОК 1

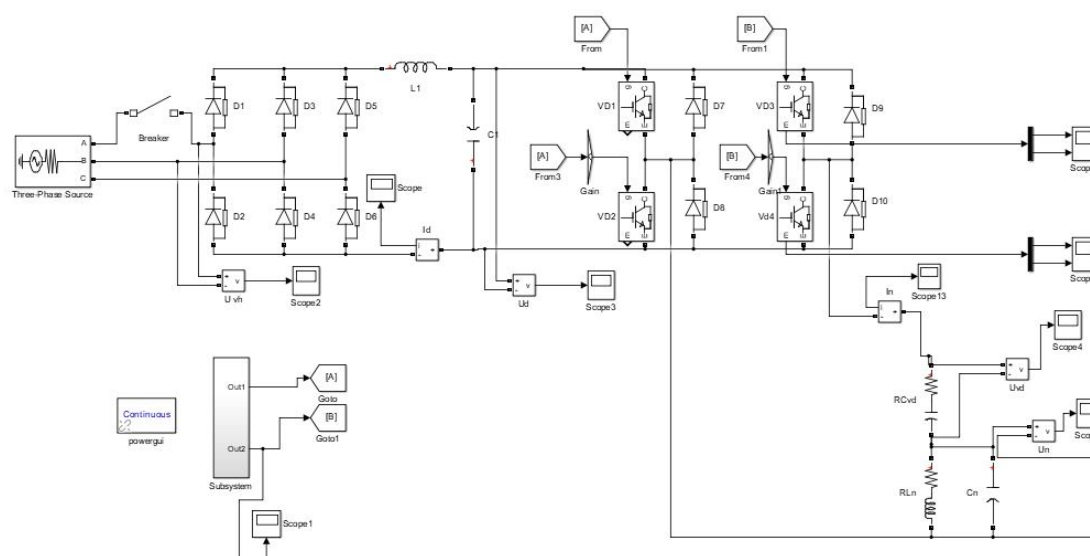
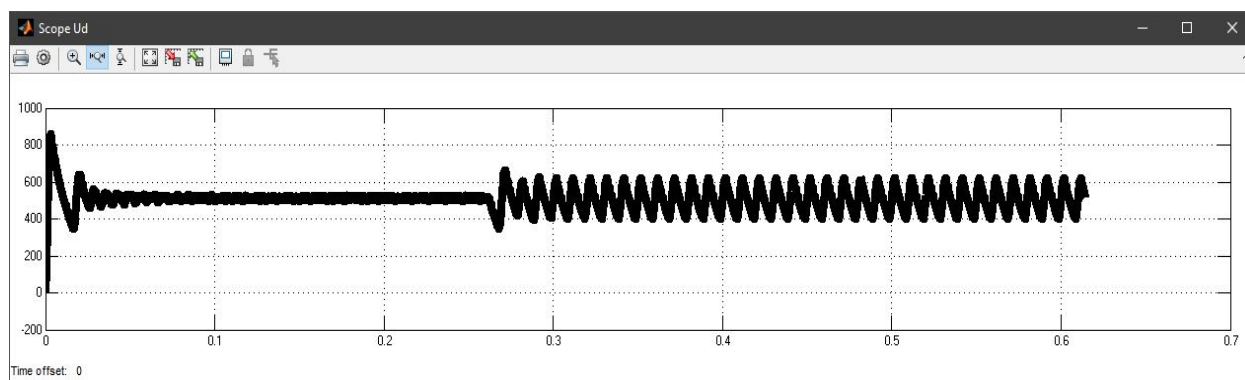
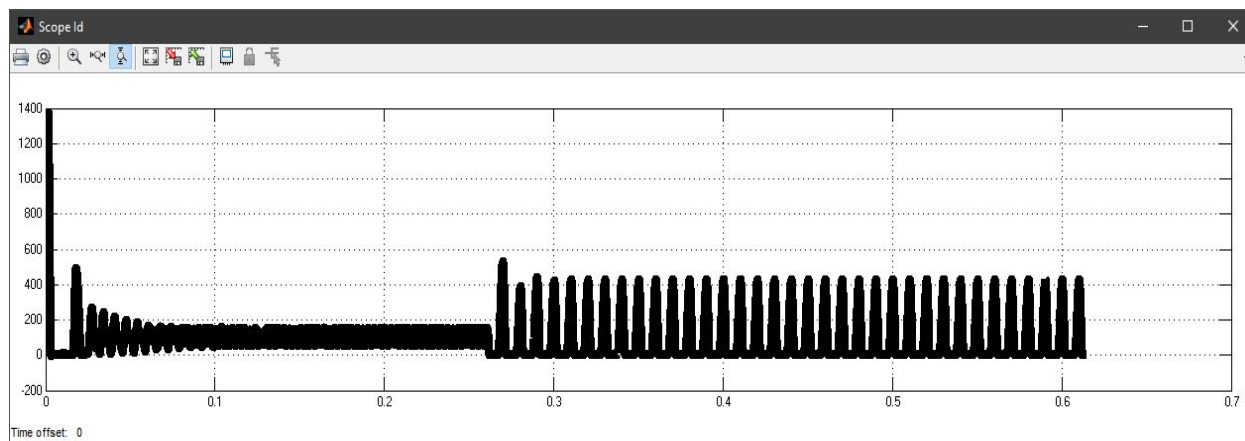


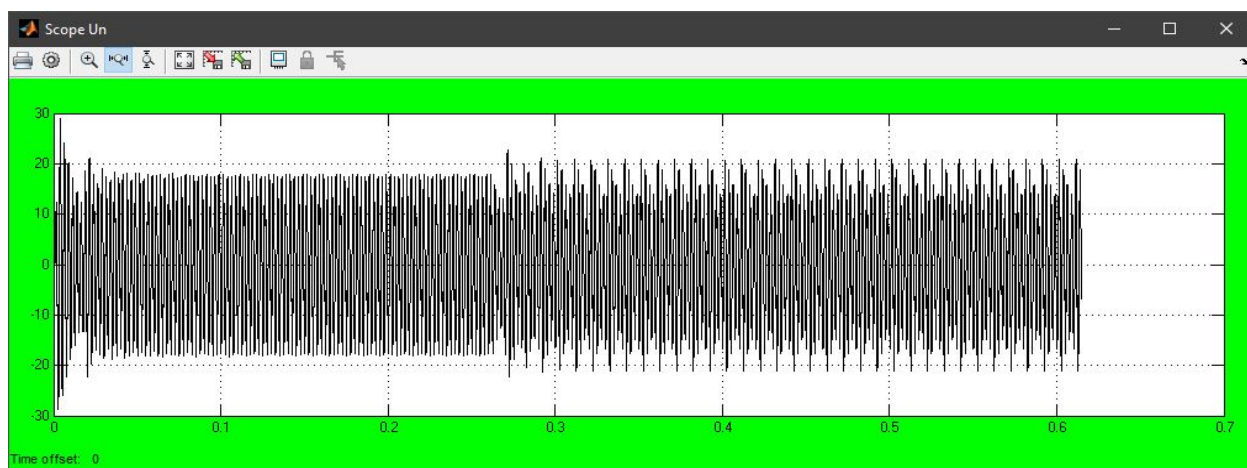
Рис. Д1.1. Компьютерна модель, яка імітує обрив фази випрямляча



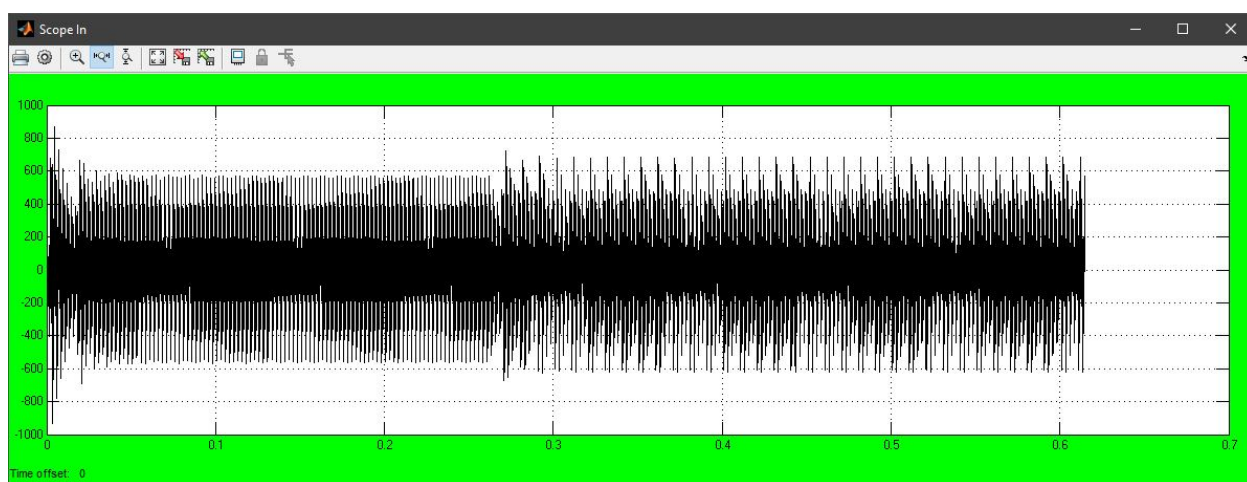
а)



б)



в)



г)

Рис. Д1.2. Часові діаграми струму та напруги при обриві фази випрямляча: а) напруга на виході випрямляча; б) струм на виході випрямляча; в) напруга навантаження; г) струм навантаження



## ДОДАТОК 2

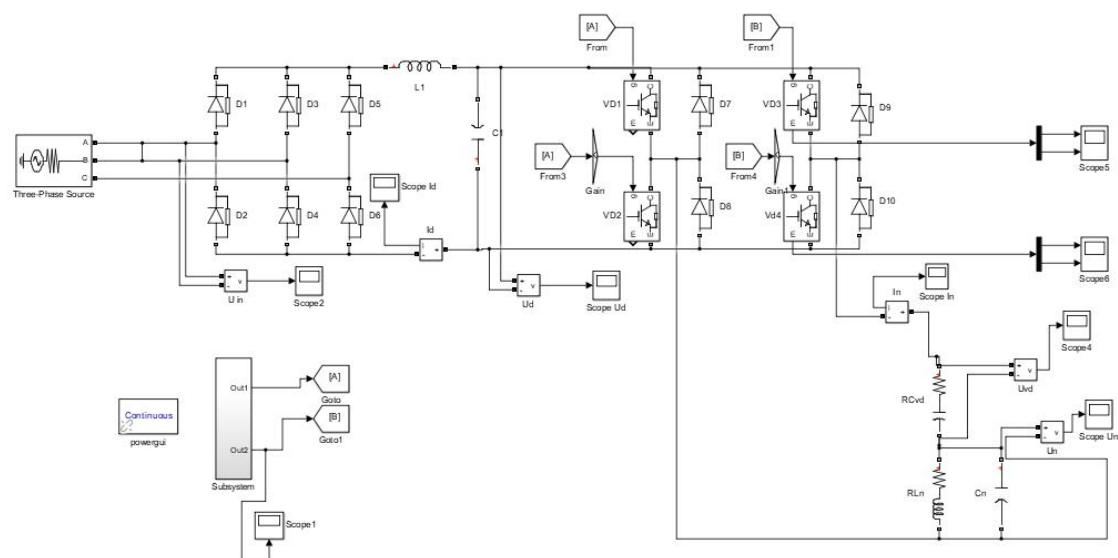
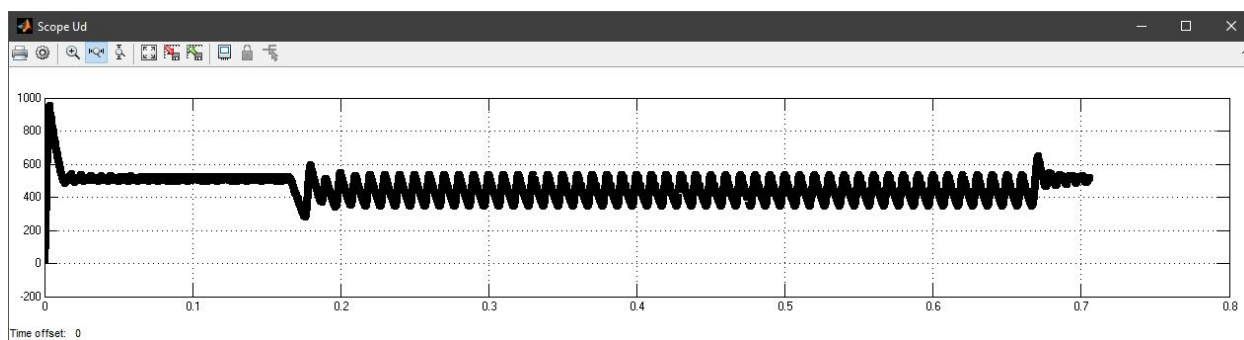
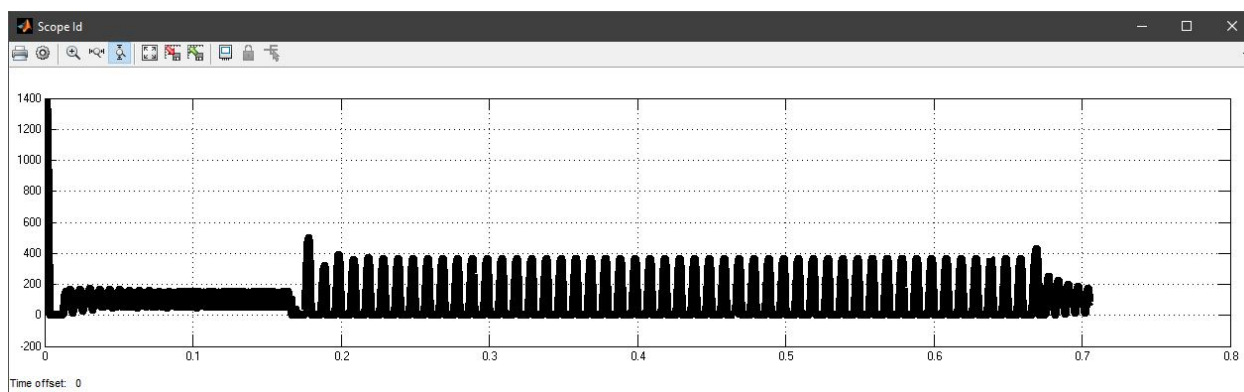


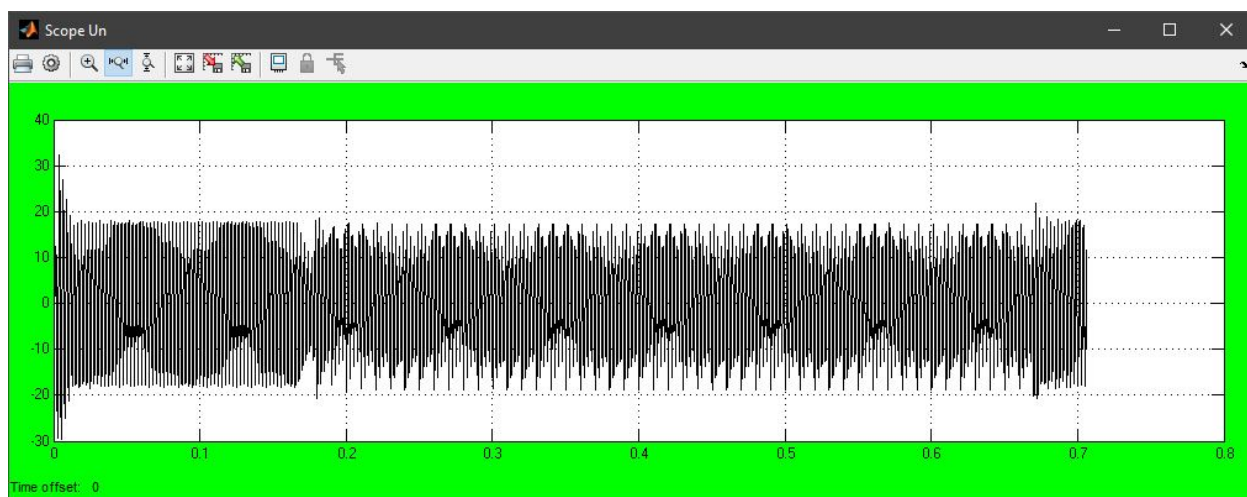
Рис. Д2.1. Комп'ютерна модель, яка імітує коротке замикання фази випрямляча



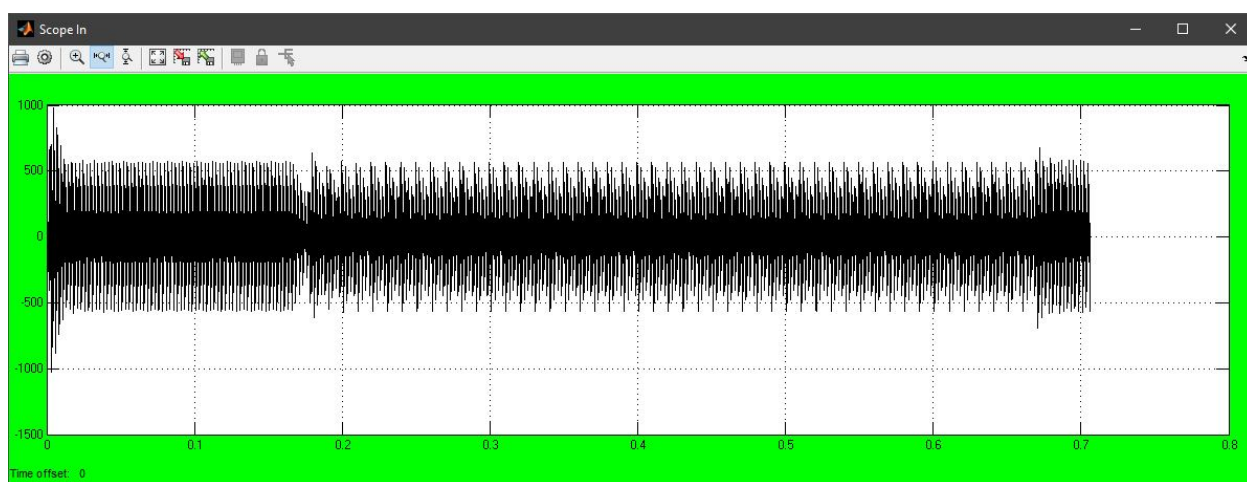
a)



б)



в)



г)

Рис. Д2.2. Часові діаграми струму та напруги при короткому замиканні фази випрямляча: а) напруга на виході випрямляча; б) струм на виході випрямляча; в) напруга навантаження; г) струм навантаження

## ДОДАТОК 3

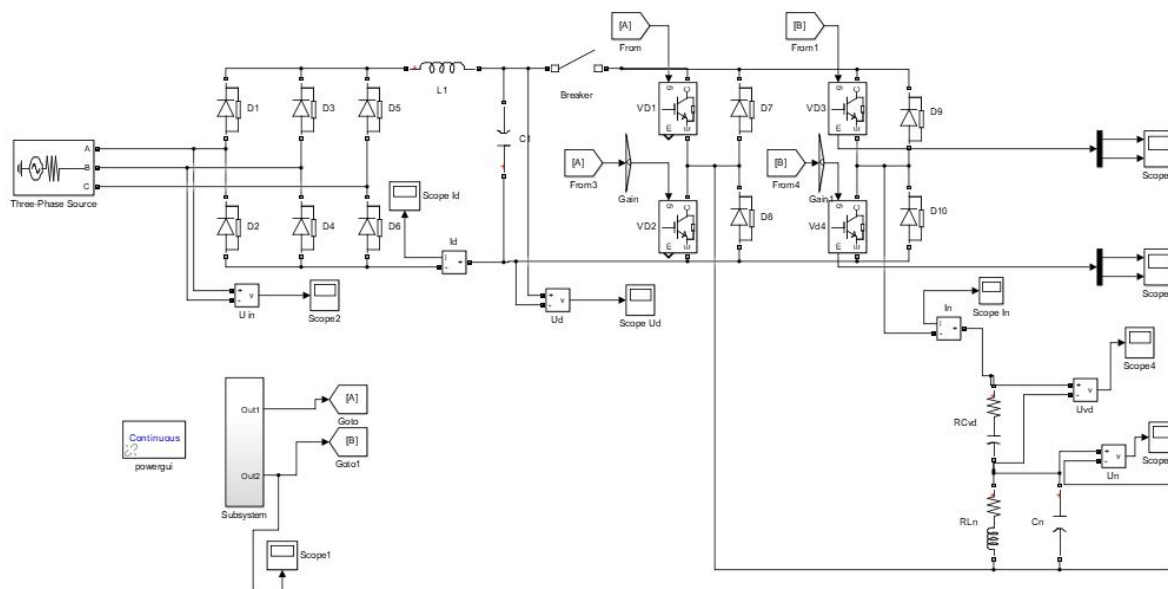
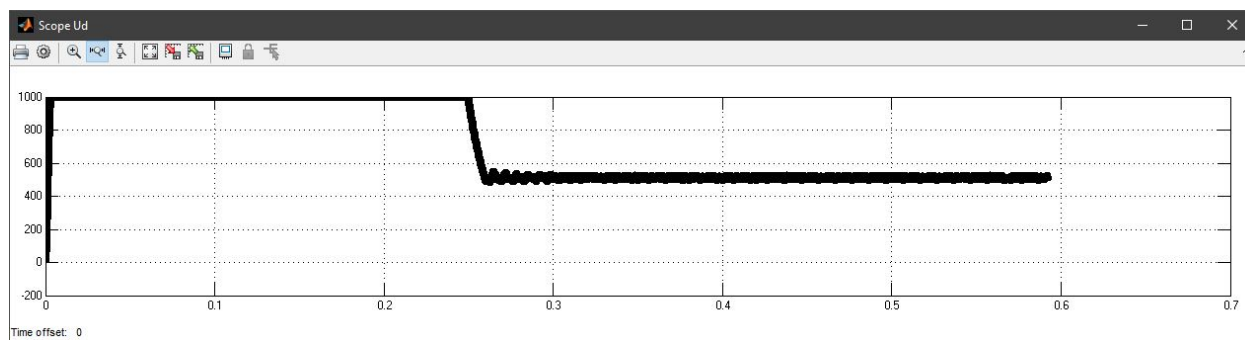
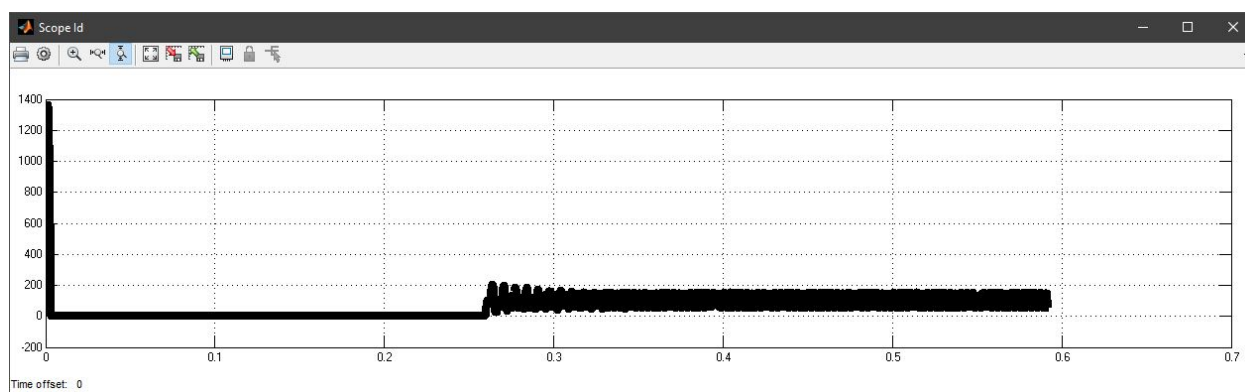


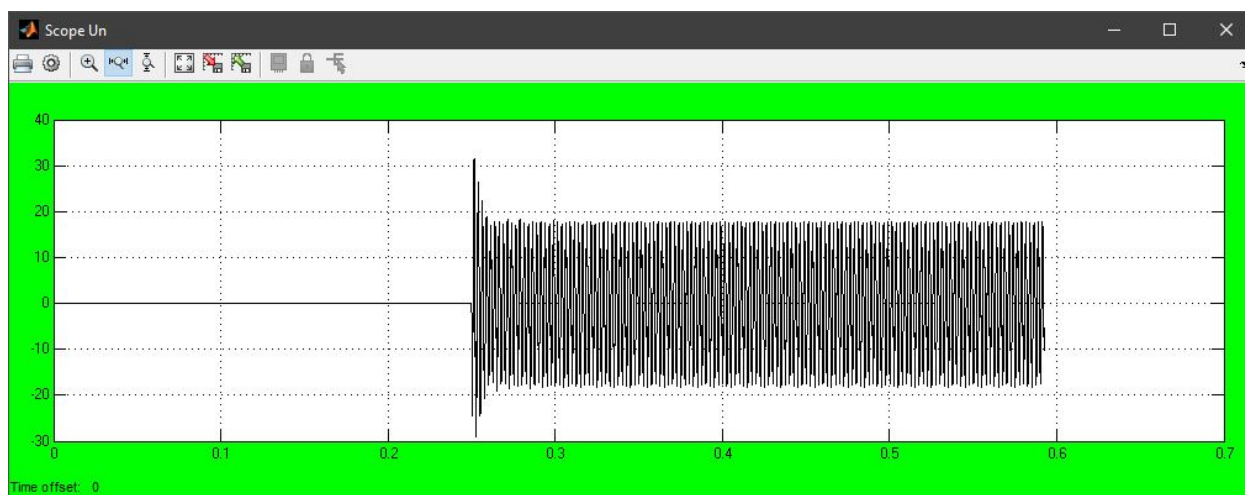
Рис. Д3.1. Компьютерна модель, яка імітує обрив фази інвертора



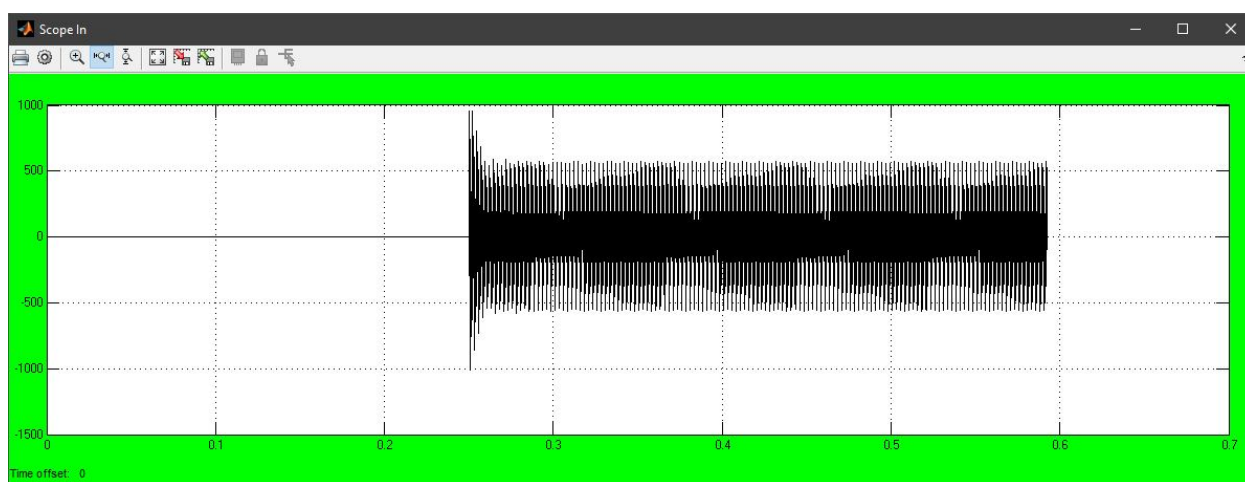
a)



б)



в)



г)

Рис. ДЗ.2. Часові діаграми струму та напруги при обриві фази інвертора: а) напруга на виході випрямляча; б) струм на виході випрямляча; г) напруга навантаження; д) струм навантаження

## ДОДАТОК 4

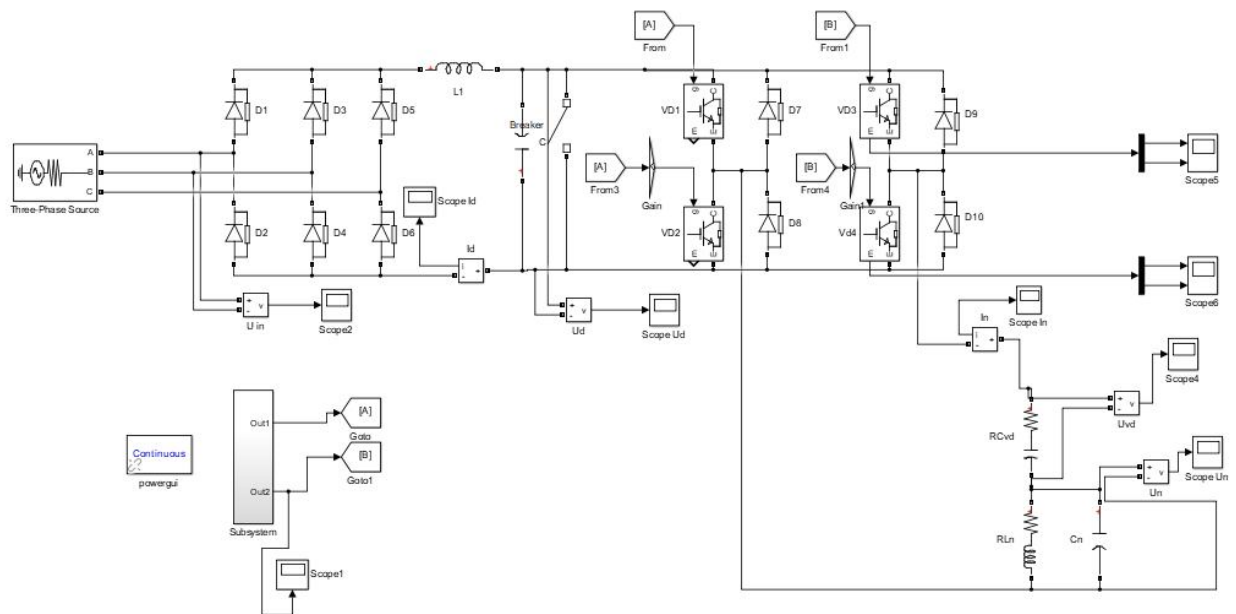
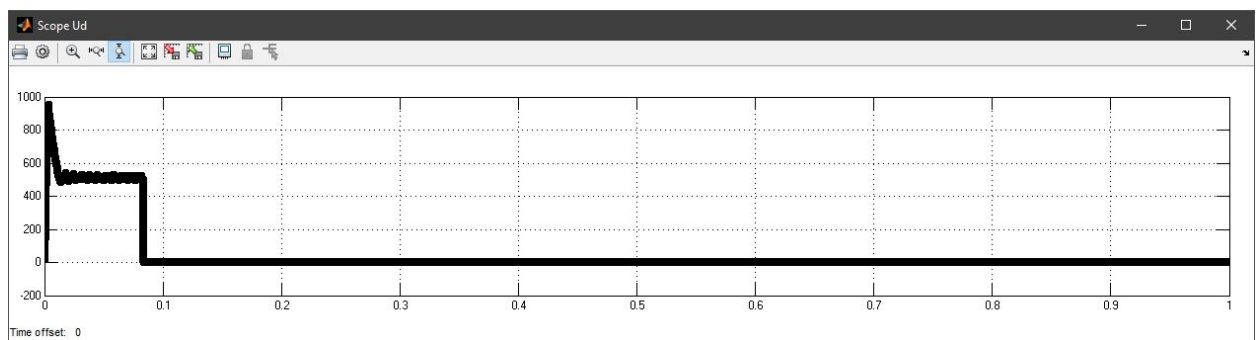
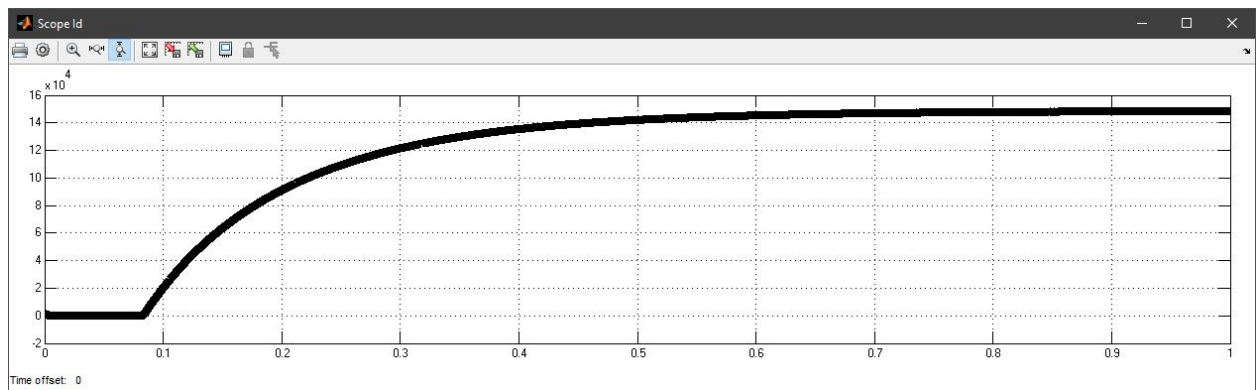


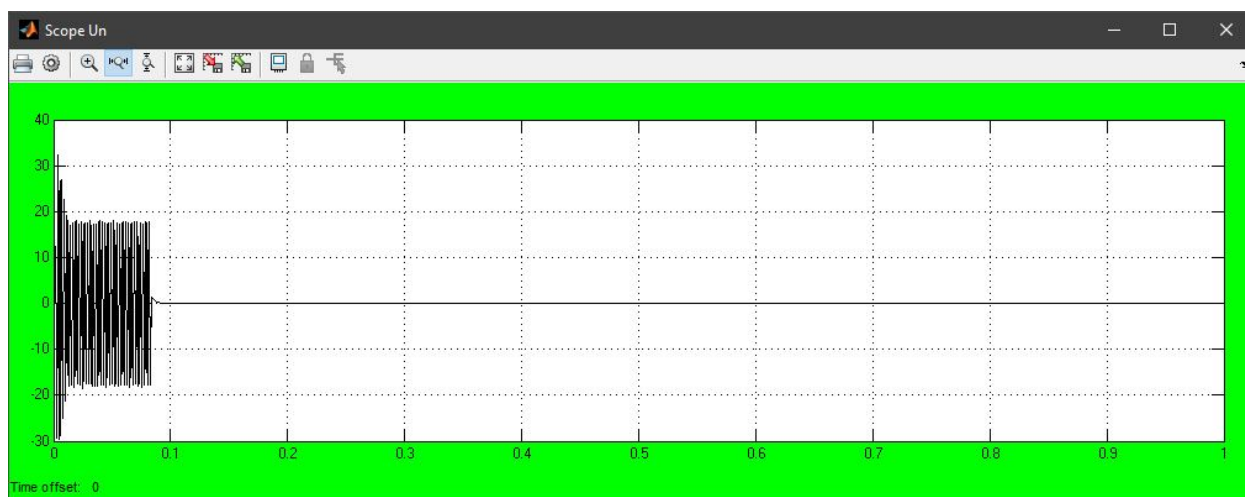
Рис. Д4.1. Комп'ютерна модель, яка імітує коротке замикання інвертора



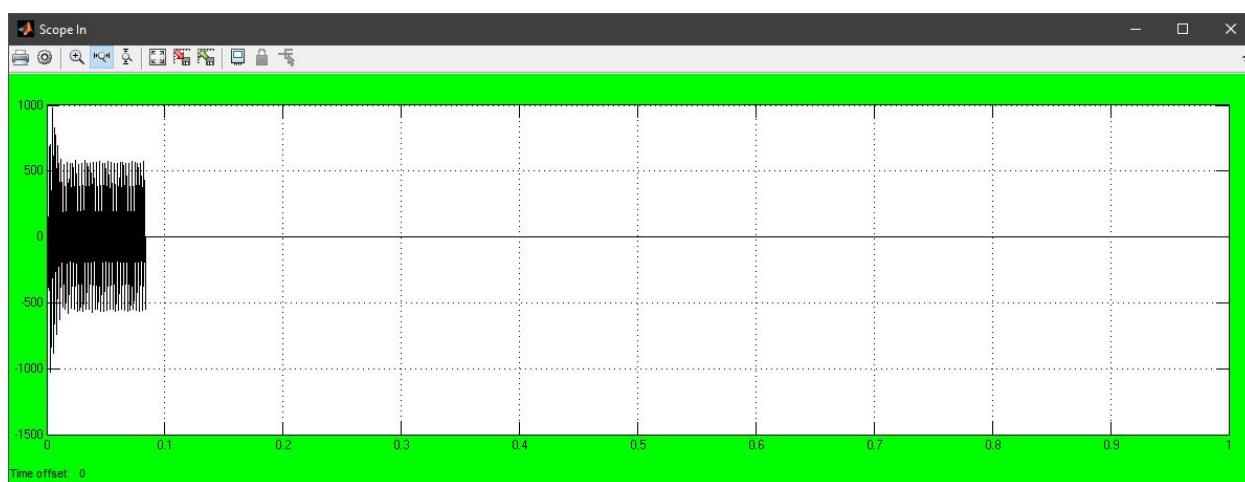
а)



б)



в)



г)

Рис. Д4.2. Часові діаграми струму та напруги при короткому замиканні інвертора: а) напруга на виході випрямляча; б) струм на виході випрямляча; в) напруга навантаження; г) струм навантаження

## ДОДАТОК 5

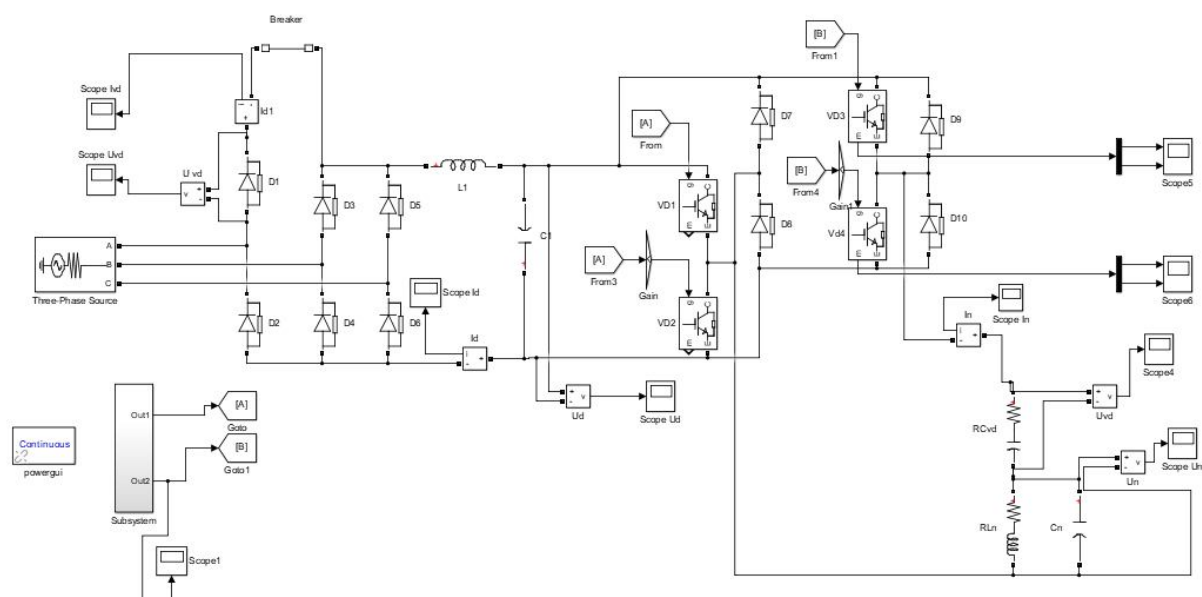
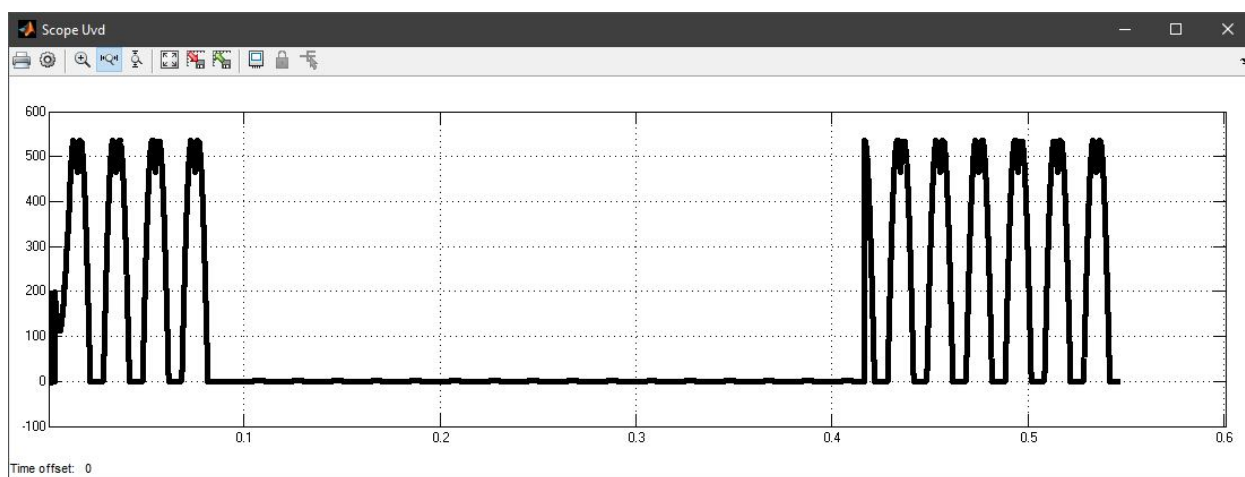
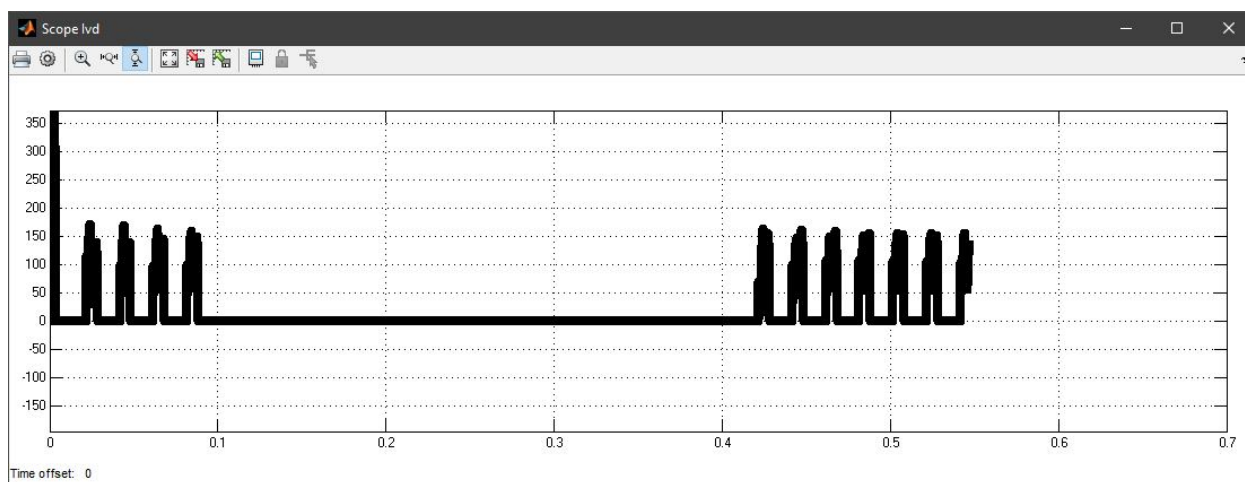


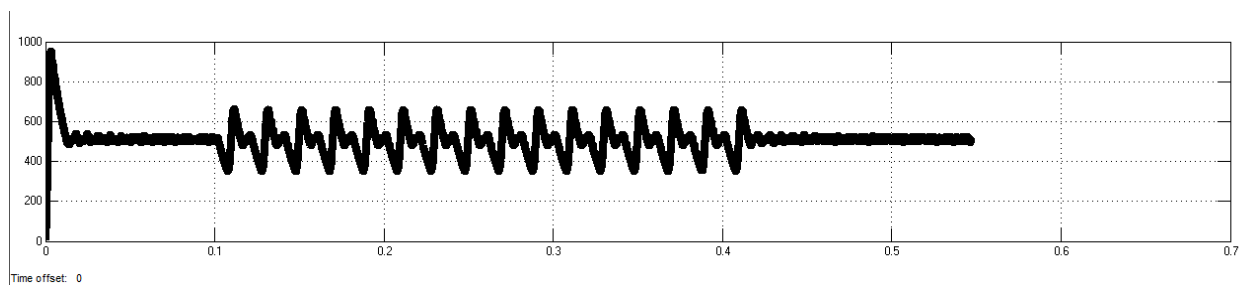
Рис. Д5.1. Комп'ютерна модель випрямляча, яка імітує вихід з ладу діода D1



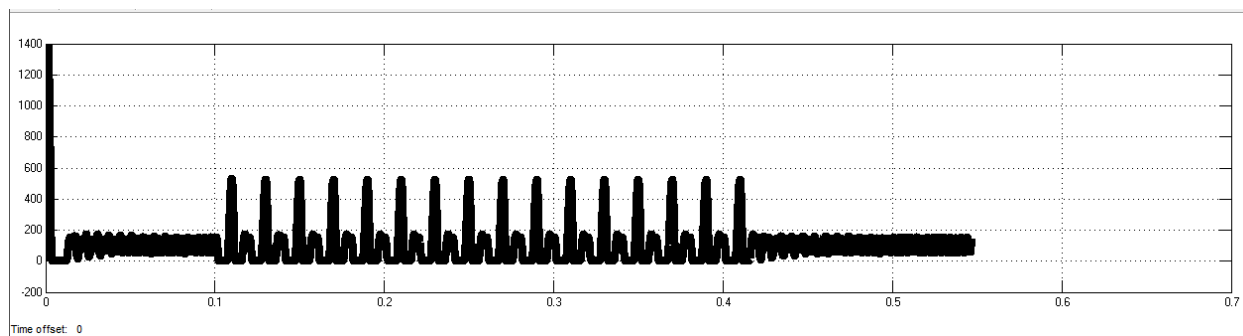
a)



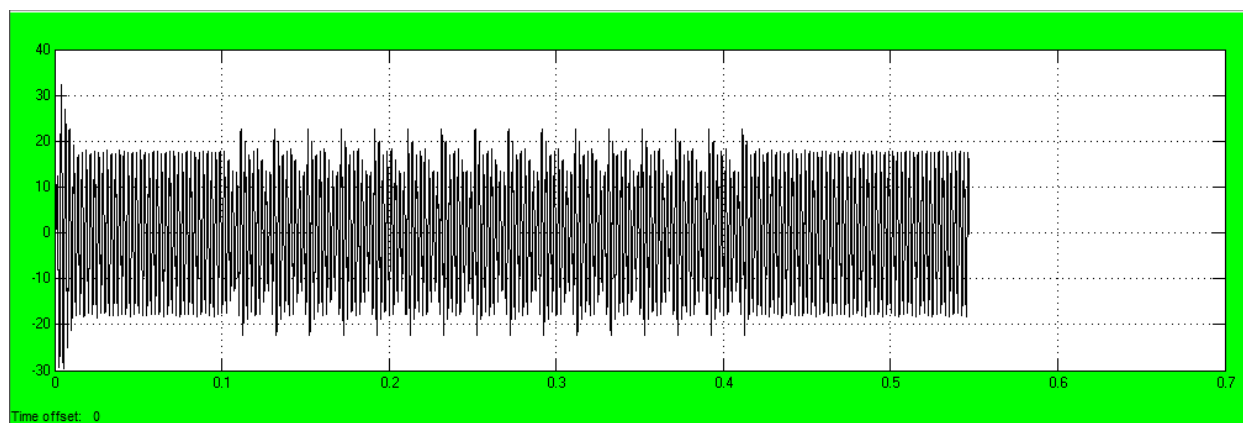
б)



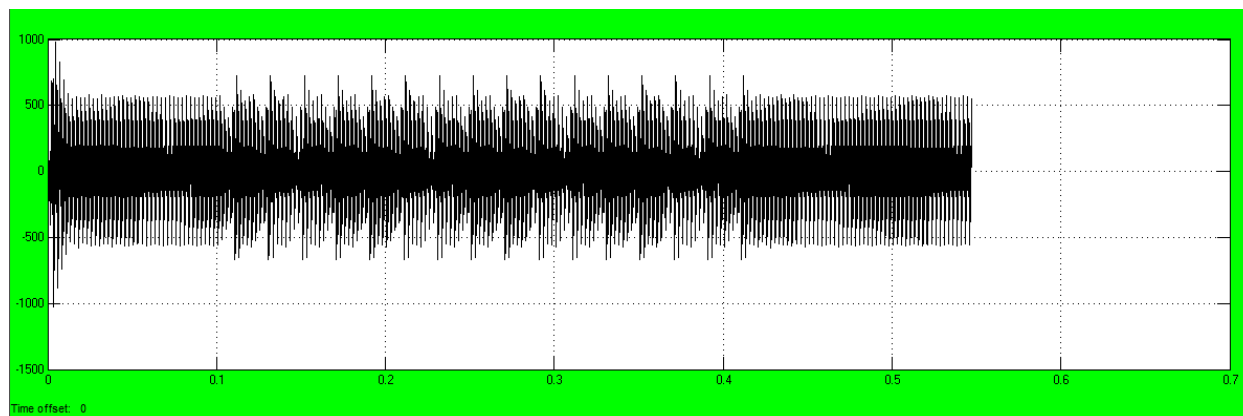
в)



г)



д)



е)

Рис. Д5.2. Часові діаграми струму та напруги при виході з ладу діода D1: а) напруга діода D1; струм діода D1; в) напруга на виході випрямляча; г) струм на виході випрямляча; д) напруга навантаження; е) струм навантаження



## ДОДАТОК 6

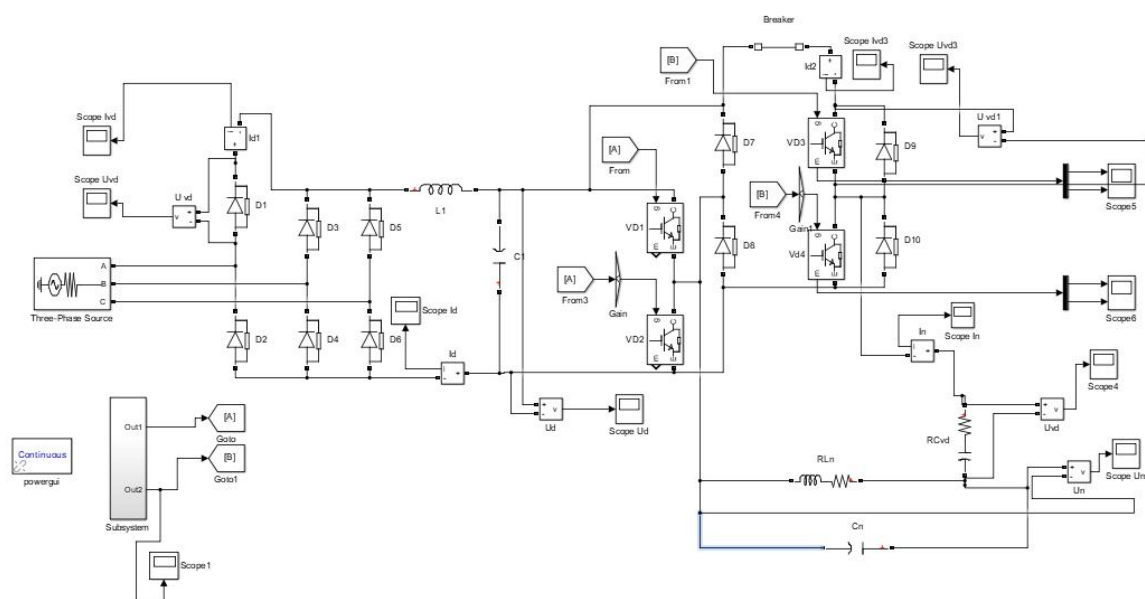
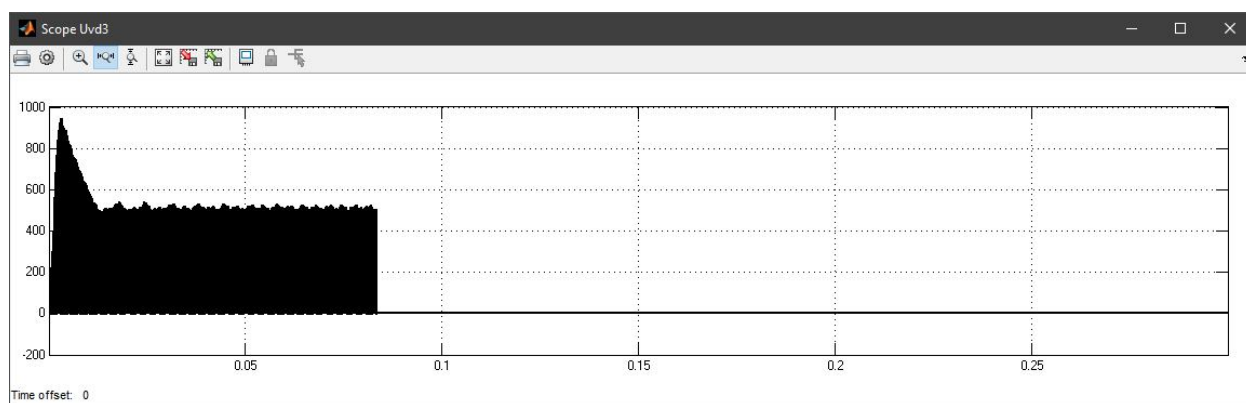
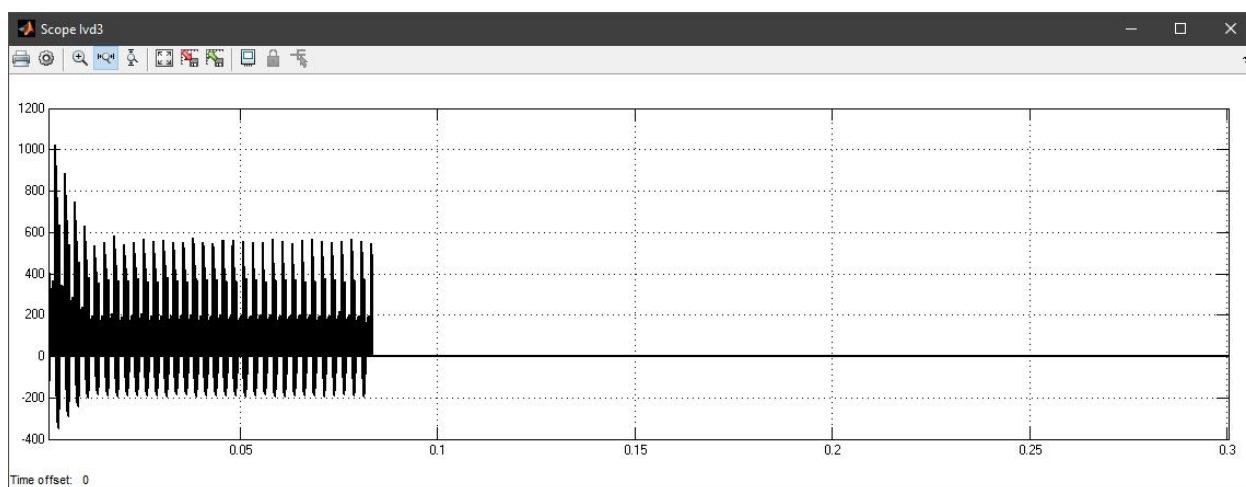


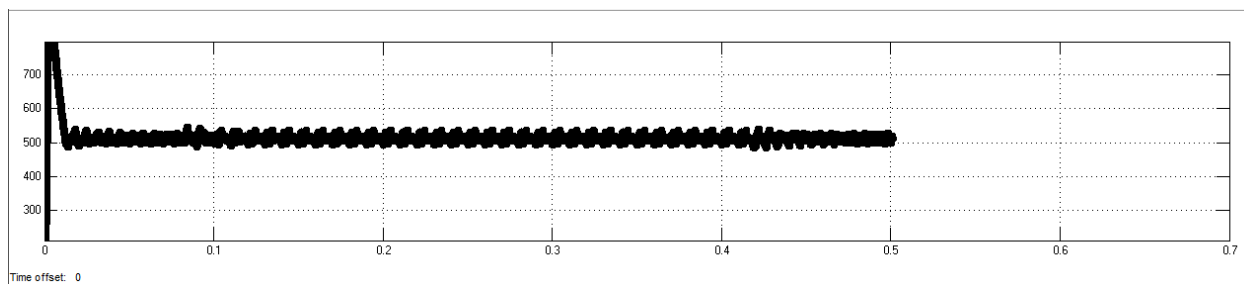
Рис. Д6.1. Комп'ютерна модель інвертора, яка імітує вихід з ладу транзистор VD3



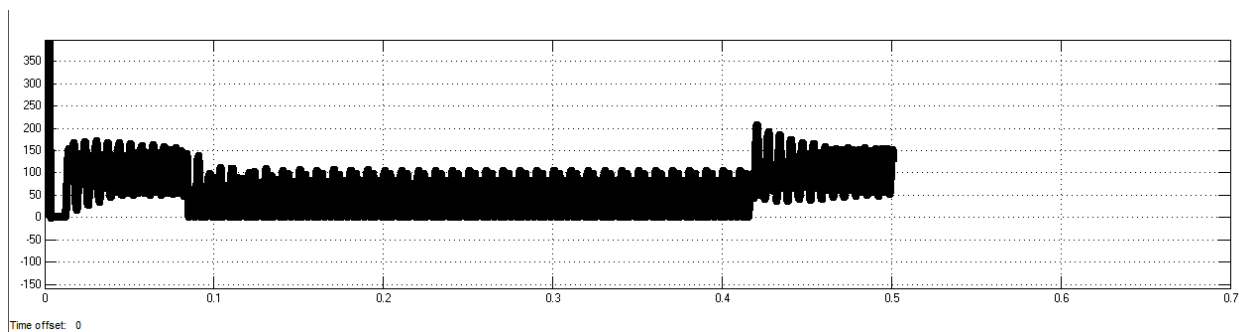
а)



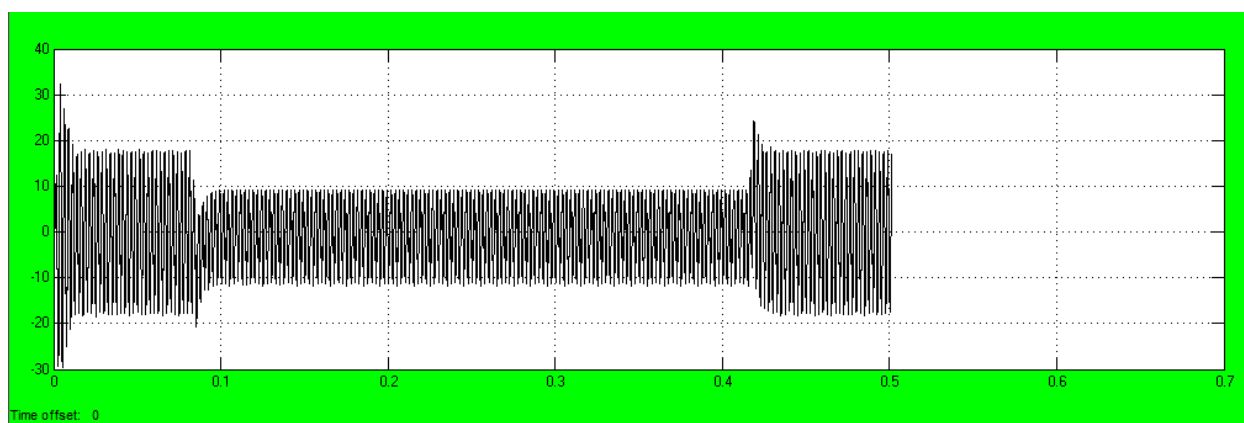
б)



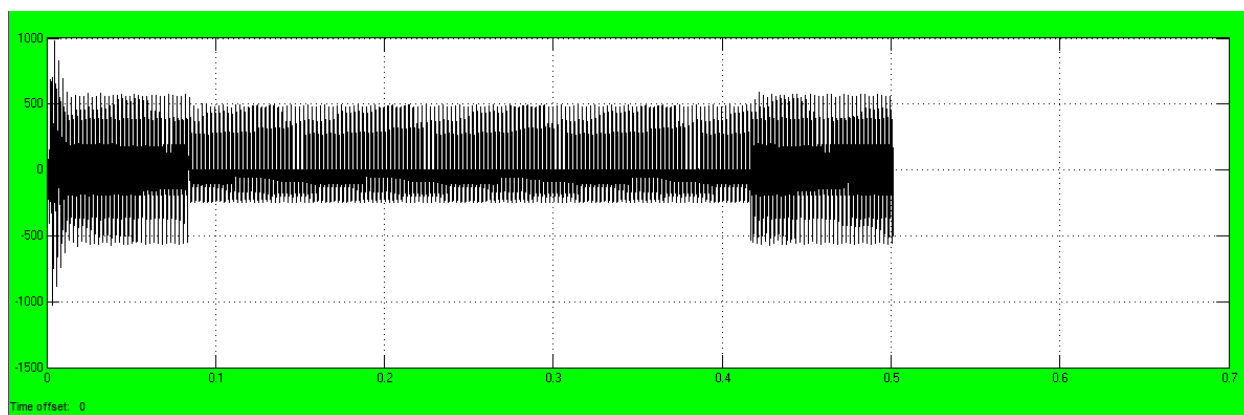
в)



г)



д)



е)

Рис. Д6.2. Часові діаграми струму та напруги при виході з ладу транзистора VD1: а) напруга транзистора VD1; струм транзистора VD1; в) напруга на виході випрямляча; г) струм на виході випрямляча; д) напруга навантаження; е) струм навантаження.

## **ABSTRACT**

The work is executed on 107 pages, contains 6 applications, 65 illustrations, 23 tables, 53 literary sources of information.

The purpose of the research: Improvement of the existing method of diagnosing semiconductor transducers in the diagrams of currents and voltages in the schemes of different topologies by selecting the optimal set of points for removing diagnostic data.

To achieve the goal, the following tasks were considered:

- analysis of the influence of typical malfunctions in the converters of various topologies on the appearance of time diagrams of their currents and voltages;
- definition points for removing diagnostic data in different schemas of the transducers, taking into account their informativeness for diagnosing;
- prediction of the state of the semiconductor converter depending on possible failures.

The object of the study is the schemes of semiconductor converters of different topologies and functional purpose

The subject of the study is the influence of the selected set of diagnostic data on the process of diagnosing semiconductor transducers of various topologies.

Scientific novelty of research data is:

- determination of diagnostic tasks, which are solved with the help of methods of functional and test diagnostics at the control of the technical state of semiconductor transducers and requirements for methods and means of diagnostics;
- determination of diagnostic parameters of functional control of the serviceability of semiconductor transducers, by which defects are possible to operate.

The practical value of the results obtained:

- the choice of diagnostic parameters is made by means of which, through functional control in semiconductor transducers, defects are found that result in loss of serviceability during operation;

- the set of diagnostic parameters of semiconductor transducers of various functional purposes, the control of which should be carried out in operation, is substantiated;
- developed expert system of diagnostics allows to detect defects of electrical equipment, which leads to violations of the work of semiconductor transducers;

#### Test work and publication

The main provisions and results obtained in the dissertation work were reported at the following scientific and technical conferences:

- Scientific and Technical Conference "New Technologies of the Modern Society of NTSC - 2017", Chernihiv, 2017.
- International scientific and practical conference "Development of technical sciences: problems and solutions", Brno, 2018.

The continuous complication of technical facilities highlights the problem of optimal operation of complex technical objects. An important role in this case is given to the definition of the state of objects, which, as a result of the influence of external and internal factors, changes over time. Knowledge of the state of technical objects at any time allows the operator to use them in an optimal way, that is, to repair as quickly as possible and thereby increase the reliability of the object.

The decision of issues related to the definition of the state of technical objects and the nature of its change over time, is engaged in technical diagnostics.

At the stage of operation, the object of diagnostics is carried out by personnel who do not have special training, which greatly increases the role of diagnostic automation.

When diagnosing solved the following main tasks: checking the goodness of the object, checking its efficiency, determining the correctness of the operation and troubleshooting:

- checking the serviceability allows to identify the absence of defects and requires a complete set of tests to assess the technical condition of the object of diagnosis and therefore is the most complex;

- the performance check determines whether the object is capable of performing the functions assigned to it. It may be less complete than checking the correctness (some defects may not affect the correct performance of work functions), but it is also quite labor-intensive, as it involves an analysis of the correctness of all specified functions in all modes of the object;

- checking the correct functioning enables to detect malfunctions and errors during the operation of the object, that is, it is executed in operating mode and evaluates its work in real time with a specific working input signal. It is also less complete compared to checking the serviceability (some defects may not appear in this mode or with this input signal), but requires less cost. The advantage of checking the correct functioning is the efficiency of obtaining information about the transition of the object to a faulty state, and the disadvantage is low completeness of control;

- Troubleshooting, determining the causes of disability, identifying rejected items are important tasks for the diagnosis of particularly complex objects.

The classification of existing methods of control and diagnostics of dynamic systems can be carried out for a number of features.

1. The type of mathematical models of the object of diagnostics:

- diagnostic methods in time and frequency domains;
- static and dynamic methods,
- deterministic
- probabilistic (statistical);

2. Diagnostic mode

- functional diagnostics, which is carried out in working mode,
- a diagnostic test, when special test signals are sent to the entrance of the object, and the test is conducted in the control mode;

3. Stages of verification

- a priori
- current
- a posteriori;

4. Model of defects

- Distortion of object signals (estimation of state variables and output signals);
- distortion of object parameters (estimation of system parameters, coefficients of mathematical model);

#### 5. The nature of the diagnostic features

- diagnostics in the space of signals (measurement of the current values of the parameters of the object of diagnosis (SD) is carried out and then the assessment of their deviation from the nominal value),
- diagnostics in the space of parameters (checking the deviation of output signals from the theoretical value);

#### 6. Principle of diagnosis

- theory of invariants
- use of models of the tested object
- analytical redundancy.

Emergency modes of semiconductor transducers. There are three main reasons why the gate transducers go into emergency modes of operation:

- unregulated change of parameters at the input and output of the valve kit;
- violation or deterioration of the main properties of the valves;
- disturbance in the control and control system of the converter.

Traditionally, emergency modes are divided into two groups: internal and external. The emergence of internal accidents is due to the loss of power semiconductor devices (SNPP) of their gate properties and controllability, as well as failures in the control system. So, if the device has lost the ability to block the voltage, it can be broken through the reverse voltage applied to it and the transducers develop internal short circuits that are one of the most severe emergency modes. ,

Analysis of emergency modes involves, firstly, the calculation of currents of emergency overloads and, secondly, the determination of the temperature of the structure of the valves loaded with these currents.

#### Analysis of the performance of a semiconductor converter model

In the environment of Matlab Simulink developed a model of semiconductor converter for the implementation and analysis of possible defects of the converter

(Fig. 1). At designing it was accepted in the system at the same time, only one defect is possible.

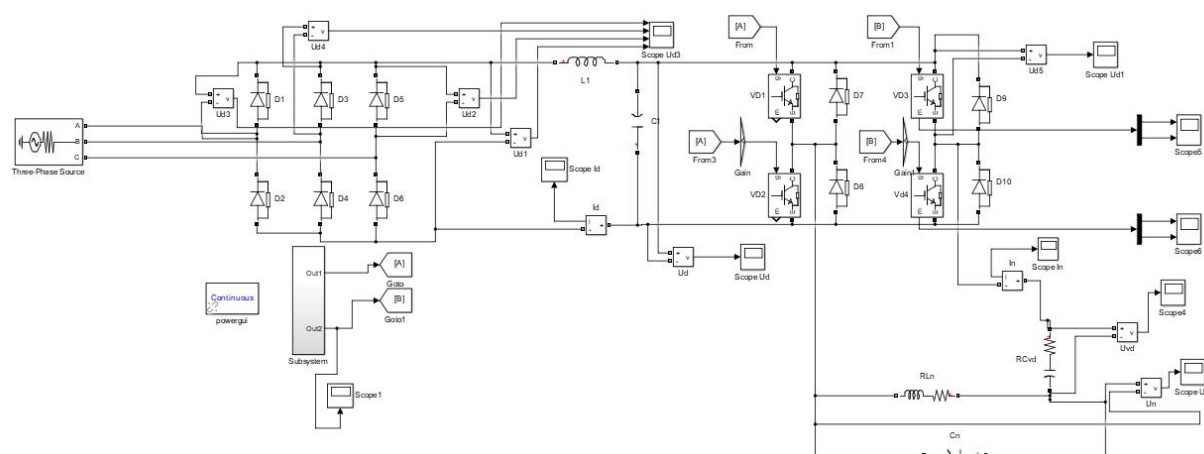


Fig. 1. Diagnostic model of a good transducer

The Power System Block Set package library contains a managed key - a Breaker element (Figure 2). This element provides turning on and off the circle of alternating current and allows to simulate both breakage and short circuit of a circuit. In the parameter settings window the task of parasitic resistances in the included  $R_o$  and off  $R_s$  states, the capacity of the  $C_s$  key in the closed state, which allows to simulate the effects associated with the non-ideal switch and the initial state of the Initial State (0 - open, 1- closed) and moments of changing states Switching times.

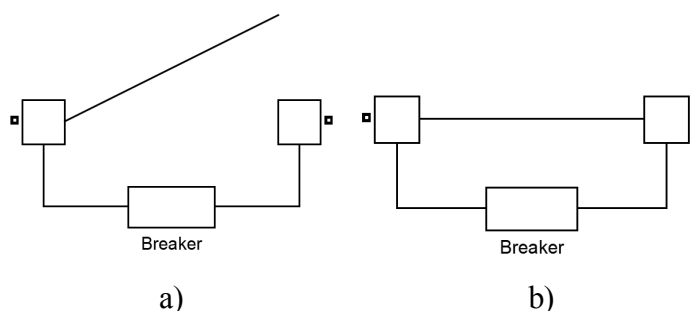


Fig. 2 Key breaker: a) open state; b) closed state

With the use of this element, virtual models were constructed for certain types of failures in the power circuits of the NPP. For the rectifier considered: short circuit of the phase winding; breakdown of the phase winding; short circuit and break of the

power key, and in the circuit of the bridge inverter: short circuit of the power supply; breakdown of power supply; break off the power valve.

The simulation was carried out under the following assumptions: inductive and active supports in the schemes of linear, three-phase networks - symmetric, EMF sinusoidal and immutable in amplitude. It was believed that all semiconductor devices retain their valve properties, and thyristors are controllable, with the exception of damaged valves. It was assumed that only a single primary failure is possible in the power circuit, and any failure is stable, and any element can be in one of two states - fully operational or completely disabled.

### Conclusions

1. Performed a review and comparison of the basic methods of diagnostics of converters. The process of analysis of the basic diagnostic parameters of the transducers is studied. The main types of defects and points of information are investigated.

2. Developed models for the development of emergency situations of power units, allowing to observe the dynamics of damage, evaluate the speed and sequence of the development of abnormal processes NPP, have shown that the development of diagnostic and prediction system of the states of complex NPP is only useful to detect the progressive failures caused by aging and wear of equipment .

3. The developed diagnostic models of the states of power units and the general diagnostic model of the state of the NPP allowed to determine the minimum set of diagnostic features and the point of removing diagnostic information.

4. The developed algorithm of troubleshooting on the basis of the table of fault functions allowed to obtain a minimum set of elementary checks that simplify the implementation of the diagnostic system by reducing the number of elements requiring verification.

5. A model is developed for the NPP in the Matlab Simulink environment to simulate various emergency modes.